



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**PENAMBAHAN STATIC VAR COMPENSATOR UNTUK
MENINGKATKAN STABILITAS TEGANGAN PADA STUDI
PERENCANAAN BACKBONE KALIMANTAN 275 KV
PADA TAHUN 2026**

Giffari Yusuf Aditya
NRP 0711144000047

Dosen Pembimbing
Dr.Dimas Fajar UP.ST.,MT.
Vita Lystianingrum B P , ST.,M.Sc.Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PENAMBAHAN STATIC VAR COMPENSATOR UNTUK
MENINGKATKAN STABILITAS TEGANGAN PADA STUDI
PERENCANAAN BACKBONE KALIMANTAN 275 KV PADA
TAHUN 2026**

Giffari Yusuf Aditya
NRP 0711144000047

Dosen Pembimbing
Dr.Dimas Fajar UP.ST.,MT.
Vita Lystianingrum B P . ST.,M.sc.Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ADDITION OF STATIC VAR COMPENSATOR TO
INCREASE VOLTAGE STABILITY IN KALIMANTAN 275
KV BACKBONE PLANNING STUDY IN 2026**

Giffari Yusuf Aditya
NRP 0711144000047

Supervisors

Dr.Dimas Fajar UP.ST.MT.

Vita Lystianingrum B P , ST.,M.Sc.Ph.D

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

Faculty of Electrical Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

**PENAMBAHAN STATIC VAR COMPENSATOR
UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS TEGANGAN
PADA STUDI PERENCANAAN BACKBONE
KALIMANTAN 275 KV PADA TAHUN 2026**

TUGAS AKHIR


**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Dimas Fajar UP., ST., MT.
NIP. 198811082012121001


Vita Lystianingrum BP., ST., MSc., Ph.D.
NIP. 198208292006042001



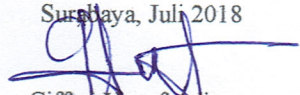
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **"PENAMBAHAN STATIC VAR COMPENSATOR UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS TEGANGAN PADA STUDI PERENCANAAN BACKBONE KALIMANTAN 275 KV PADA TAHUN 2026"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Giffan Yusuf Aditya
0711144000047

PENAMBAHAN STATIC VAR COMPENSATOR UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS TEGANGAN PADA STUDI PERENCANAAN BACKBONE KALIMANTAN 275 KV PADA TAHUN 2026

Nama mahasiswa : Giffari Yusuf Aditya

Dosen Pembimbing I : Dr. Dimas Fajar UP.ST.,MT.

Dosen Pembimbing II : Vita Lystianingrum B P , ST.,M.Sc.Ph.D

Abstrak:

Pemerintah merencanakan penambahan pembangkit tenaga listrik, transmisi, dan gardu induk pada regional Kalimantan. Sehingga dibutuhkan perencanaan untuk melakukan pembangunan sistem tenaga listrik di Kalimantan. *Total blackout* atau pemadaman total merupakan hal yang sangat dihindari pada sistem tenaga listrik. Salah satu yang dapat mempengaruhi terjadinya *total blackout* adalah stabilitas tegangan. *Static Var Compensator* (SVC) dapat mengatasi stabilitas tegangan pada sistem transmisi. SVC merupakan salah satu peralatan FACTS (*Flexible Alternating Current Transmission System*) dengan hubungan paralel yang dapat mengatur besaran reaktansi paralel sehingga dapat mengontrol tegangan pada bus tertentu. SVC dapat menyerap dan menginjeksikan daya reaktif untuk mengontrol besar tegangan pada titik sambungan ke jaringan AC. Pada tugas akhir ini dibahas cara memperbaiki stabilitas tegangan pada sistem *Backbone* kelistrikan Kalimantan 275 kV. Analisis stabilitas tegangan dianalisis dengan menggunakan metode kestabilan kurva PV dan penempatan lokasi SVC dengan metode sensitivitas tegangan. Hasil analisis tersebut akan menjadi dasar dari analisis lainnya seperti *short circuit*, kestabilan dan lain-lain. Sehingga Sistem transmisi *Backbone* Kalimantan 275 kV memiliki sistem tenaga listrik yang baik.

Kata kunci: (SVC, PV curve, FACTS)

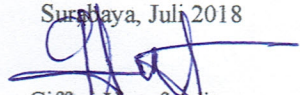
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **"PENAMBAHAN STATIC VAR COMPENSATOR UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS TEGANGAN PADA STUDI PERENCANAAN BACKBONE KALIMANTAN 275 KV PADA TAHUN 2026"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Giffan Yusuf Aditya
0711144000047

ADDITION OF STATIC VAR COMPENSATOR TO INCREASE VOLTAGE STABILITY IN KALIMANTAN 275 KV BACKBONE PLANNING STUDY IN 2026

Student Name : Giffari Yusuf Aditya
Supervisor I : Dr.Dimas Fajar UP.ST.,MT.
Supervisor II : Vita Lystianingrum B P , ST.,M.Sc.Ph.D

Abstract:

The government plans additional power plants, transmissions and substations in the Kalimantan region. So it takes planning to do the construction of power system in Kalimantan. Total blackout is a very avoidable thing on the power system. One that can affect the total blackout is the voltage stability. Static Var Compensator (SVC) can overcome the voltage stability in the transmission system. SVC is one of the FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) equipment with parallel connection that can adjust the amount of parallel reactance so that it can control the voltage on certain bus. SVC can absorb and inject reactive power to control the voltage across the connection point to the AC (Alternating Current) network. In this final project discussed how to improve the stability of the voltage on the system Backbone electricity 275 kV Kalimantan. Stability analysis of stress is analyzed by using stability method of PV curve and SVC location placement with stress sensitivity method. The results of the analysis will be the basis of other analyzes such as short circuit, stability and others. So the 275 kV Kalimantan backbone transmission system has a good electric power system.

Key Word: *(SVC, PV Curve,FACTS)*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“JPENAMBAHAN STATIC VAR COMPENSATOR UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS TEGANGAN PADA STUDI PERENCANAAN BACKBONE KALIMANTAN 275 KV PADA TAHUN 2026”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
3. Bapak Fajar Uman dan Ibu Vita Lystianingrum selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.
6. Ustadz-ustadz, pengurus, dan teman-teman pesantren mahasiswa Darul Arqam Keputih Surabaya. Terimakasih atas doa, ilmu, semangat, nasihat, dan kritik yang membangun semangat saya mengerjakan skripsi ini.
7. Teman-teman belajar bersama Fakhri, Imam, Farhan, Gufron, Tegar, Banu, Ivan, dan Yandi yang selalu memberi semangat, ilmu dan berdiskusi tentang mata kuliah dan lain-lain.
8. Teman-teman Laboratorium Simulasi Sitem Tenaga Listrik, konci, Ori, Fikri, Aden, Mas Bibur, Sabil yang telah membantu tentang proyek Kalimantan dan tugas akhir saya
9. Sahabat dari Bondowoso, Andika, Ajeb, Yovanka yang telah memberi semangat untuk mengerjakan tugas akhir ini.
10. Seluruh anggota tugas akhir proyek Kalimantan, yang telah membantu dan memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

11. Mas dan juga mbak Lintas Jalur teknik elektro yang ikut membantu dan memberi saran terkait tugas akhir ini.
12. Seluruh teman-teman teknik elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang tidak bias penulis sebutkan satu persatu yang telah memberi bantuan, semangat, ilmu dan kekuatan untuk bias menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Juli 2018

Giffari Yusuf Aditya

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR..... | ii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | ix |
| DAFTAR TABEL | x |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Metodologi..... | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| 1.7 Relevansi | 5 |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Kajian Penelitian Terkait | 7 |
| 2.2 Studi Aliran Daya | 8 |
| 2.2.1 Analisis Aliran Daya..... | 8 |
| 2.2.2 Sistem per-unit (pu) | 9 |
| 2.2.3 Persamaan Aliran daya | 10 |
| 2.2.4 Aliran Daya menggunakan metode Newton Raphson | 12 |
| 2.3 Stabilitas Tegangan..... | 15 |
| 2.3.1 Stabilitas Tegangan <i>Large-disturbance</i> | 15 |
| 2.3.2 Stabilitas Tegangan <i>small-disturbance</i> | 15 |
| 2.3.3 Stabilitas Tegangan <i>Short-term</i> | 16 |
| 2.3.4 Stabilitas Tegangan <i>Long-term</i> | 16 |
| 2.4 Kurva PV | 16 |
| 2.5 Sensitivitas Tegangan | 17 |

| | | |
|-----------------------------------|--|----|
| 2.6 | <i>Static Var Compensator (SVC)</i> | 17 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN | | 21 |
| 3.1 | Metodologi..... | 21 |
| 3.2 | Data Kelistrikan Kalimantan 275 kV..... | 23 |
| 3.3 | ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) | 27 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 29 |
| 4.1 | Aliran Daya pada keadaan Normal | 29 |
| 4.2 | Analisis Sensitifitas Tegangan | 31 |
| 4.3 | Pemasangan SVC..... | 34 |
| 4.4 | Analisis Stabilitas Setelah Pemasangan SVC | 35 |
| BAB 5 KESIMPULAN | | 39 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 39 |
| 5.2 | Saran | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 41 |
| LAMPIRAN | | 43 |
| BIODATA PENULIS | | 77 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Tipikal Bus Sistem Tenaga Listrik | 9 |
| Gambar 2.2 | Kurva P-V | 16 |
| Gambar 2.3 | SVC sebagai Suseptansi variable a) Rangkaian FC-TCR; b) Model SVC..... | 18 |
| Gambar 2.4 | Kurva tegangan dan daya reaktif pada SVC..... | 19 |
| Gambar 3.1 | <i>Flowchart</i> metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir | 22 |
| Gambar 3.2 | <i>Backbone</i> Kalimantan 275 kV..... | 25 |
| Gambar 4.1 | Grafik Tegangan Bus 275 kV | 30 |
| Gambar 4.2 | Grafik Tegangan Bus 275 kV Setelah penambahan beban..... | 31 |
| Gambar 4.3 | Kurva PV Bus GI Berau 275 kV | 34 |
| Gambar 4.4 | Grafik tegangan bus 275 kV sebelum dan setelah pemasangan SVC..... | 36 |
| Gambar 4.5 | Kurva PV Berau Setelah Pemasangan SVC | 37 |
| Gambar 4.6 | Karakteristik perbaikan Kurva PV Berau Setelah Pemasangan SVC..... | 38 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Penelitian Sebelumnya | 7 |
| Tabel 3.1 Data Beban Kalimantan tahun 2026..... | 24 |
| Tabel 3.2 Data Pembangkitan Kalimantan..... | 25 |
| Tabel 3.3 Impedansi Pembangkit Kalimantan | 25 |
| Tabel 3.4 Data <i>line transmission</i> Kalimantan | 26 |
| Tabel 3.5 Data impedansi saluran Kalimantan..... | 26 |
| Tabel 4.1 Tegangan bus 275 keadaan normal | 30 |
| Tabel 4.2 Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan SVC | 32 |
| Tabel 4.3 Tegangan Bus Gi Berau setelah penambahan beban secara bertahap sampai titik kritis..... | 32 |
| Tabel 4.4 Perbandingan hasil <i>Load Flow Study backbone</i> Kalimantan 2026 | 35 |
| Tabel 4.1 Tegangan Bus Gi Berau setelah penambahan beban secara bertahap sampai titik kritis..... | 31 |
| Tabel 4.2 Perbandingan hasil <i>Load Flow Study backbone</i> Kalimantan 2026 | 34 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia direncanakan akan melakukan penambahan transmisi pada tegangan 500 kVAC sepanjang 7.6 ribu kms, 500 kVDC sepanjang 1.1 ribu kms, 275 kV sepanjang 8.2 ribu kms, 150 kV sepanjang 48.4 ribu kms, 70 kV sepanjang 2.3 ribu kms sehingga total panjang transmisi perencanaan penambahan transmisi pada tahun 2017-2026 adalah 67.4 ribu kms. Pada setiap tahun direncanakan didominasi dengan transmisi tegangan 150 kV kecuali pada tahun 2024 direncanakan akan didominasi oleh transmisi 500kVDC. Untuk tegangan 70 kV secara perlahan sampai pada tahun 2026 akan mengalami pengurangan.

Sistem kelistrikan di Kalimantan terdiri dari beberapa interkoneksi 150 kV dan terdapat beberapa sistem *isolated*. Sistem kelistrikan Kalimantan pada saat ini terdapat 4 sistem besar yang terdiri dari Sistem Khatulistiwa, Sistem Barito, Sistem Mahakam, dan Sub Sistem Bangkanai-Muara Teweh-Bunto (BMB). Sistem Khatulistiwa terletak di Kalimantan Barat memiliki sistem interkoneksi dengan tegangan 150 kV. Sistem Barito adalah sistem interkoneksi kelistrikan yang terbesar pada Kalimantan Selatan yang membentang sampai Kalimantan Tengah dengan tegangan 150 kV dan 70 kV, sistem Barito dipasok dari bermacam-macam pembangkit yang terdiri dari PLTU, PLTD minyak, PLTG minyak, dan PLTA. Sistem Mahakam merupakan sebuah sistem interkoneksi dengan tegangan 150 kV yang memasok kota Balikpapan, Samarinda, Tenggarong, dan Bontang. Sistem Mahakam di pasok oleh beberapa pembangkit yang meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sub sistem BMB akan memasok listrik dari Gardu Induk Buntok, Muara Teweh, Bangkanai.

Pembangkit tenaga listrik di Kalimantan masih banyak yang menggunakan (PLTD) atau pembangkit dengan bahan bakar minyak. Hal ini menyebabkan biaya produksi listrik yang tinggi dan pembangkitan daya listrik dengan kapasitas yang kecil. Sehingga pada regioanal Kalimantan direncanakan pada tahun 2017-2026 akan menambah pembangkit dengan

kapasitas 6.9 GW, penambahan transmisi sepanjang 10.772 kms, dan untuk gardu induk berkapasitas 7.590 MVA. Dengan adanya penambahan pembangkit, transmisi, dan gardu induk akan mengurangi PLTD dan mengurangi pemakaian minyak sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik di Kalimantan serta menurunkan harga produksi listrik dan meningkatkan terpenuhinya kebutuhan listrik di Kalimantan.

Untuk meningkatkan terpenuhinya kebutuhan energi listrik di Kalimantan, kualitas listrik yang disalurkan pada konsumen juga harus ditingkatkan untuk mengimbangi meningkatnya suplai listrik dan beban. Kualitas listrik seperti tegangan harus dijaga pada batas yang diijinkan atau stabilitas tegangan pada sistem tersebut harus ditingkatkan sehingga pada saat puncak beban sistem tersebut masih dalam batas yang diijinkan yaitu menurut standar $1 \pm 5\%$.

Salah satu cara untuk memperbaiki stabilitas tegangan adalah dengan pemasangan *static Var Compensator (SVC)*. Pada tugas akhir ini dibahas cara memperbaiki stabilitas tegangan pada sistem *backbone* kelistrikan Kalimantan 275 kV untuk meningkatkan stabilitas tegangan dan untuk menghindari *blackout* atau pemadaman total pada sistem transmisi. Stabilitas tegangan dianalisis dengan menggunakan metode kestabilan kurva PV dan penempatan lokasi SVC dilakukan dengan metode sensitivitas tegangan. Hasil analisis tersebut akan menjadi dasar dari analisis lainnya seperti *short circuit*, kestabilan dan lain-lain. Sehingga sistem transmisi *backbone* Kalimantan 275 kV memiliki sistem tenaga listrik yang baik.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaiman cara menganalisis stabilitas tegangan menggunakan kurva PV pada sistem *backbone* Kalimantan 275 KV
2. Bagaimana cara menentukan lokasi pemasangan SVC menggunakan metode sensitivitas
3. Penentuan kapasitas SVC yang akan di pasang pada sistem *backbone* Kalimantan 275 kV

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui stabilitas tegangan pada sistem *backbone* Kalimantan 275 kV menggunakan kurva PV
2. Menentukan bus sebagai lokasi penempatan SVC pada sistem *backbone* Kalimantan 275 kV menggunakan metode sensitivitas tegangan
3. Menentukan kapasitas SVC yang terpasang pada bus *backbone* Kalimantan

1.4 Batasan Masalah

1. Simulasi dan analisis dilakukan pada keadaan *steady state*.
2. Analisis sistem tenaga yang dilakukan menggunakan studi aliran daya menggunakan metode Newton raphson.
3. Pemodelan dan simulasi *backbone* Kalimantan menggunakan software ETAP 12.6.0
4. Data yang digunakan menggunakan data dari PLN.
5. Penentuan lokasi SVC dilakukan menggunakan kurva PV pada bus yang memiliki sensitivitas paling besar terhadap penambahan beban.
6. Dalam penentuan SVC mengabaikan karakteristik dan rating SVC di pasaran.
7. Faktor ekonomis tidak diperhitungkan

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk membantu pemahaman terhadap pengerjaan penelitian tugas akhir. Mempelajari tentang aliran daya sistem tenaga khususnya pada cara memperbaiki stabilitas tegangan dengan penambahan SVC.
2. Pengumpulan Data
Data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data sistem kelistrikan Kalimantan 275 KV yaitu berupa data pembangkitan, data saluran, dan data beban pada sistem.
3. Pemodelan Sistem dan Simulasi
Sistem tenaga listrik yang dimodelkan dan disimulasikan yaitu pada sistem *backbone* Kalimantan 275 kV dengan *software (Electrical Transient Analyzer Program)* ETAP 12.6.0.
4. Analisis dan Perbandingan

Pada *software* ETAP dilakukan *Load Flow Analysis* untuk mengetahui keadaan pada setiap bus yang mengalami *drop voltage* yang cukup tinggi jika diberi penambahan beban P dan Q . Kemudian dilakukan penambahan SVC dengan kapasitas yang sudah diperhitungkan untuk memperbaiki tegangan. Sehingga dapat di analisis perubahan aliran daya sebelum dan sesudah pemasangan SVC.

5. Penulisan Buku Tugas Akhir

Pada tahap yang terakhir ini adalah penulisan buku tugas akhir yang merupakan laporan dari gambaran hasil analisis dari permasalahan. Laporan tersebut merupakan jawaban dari permasalahan yang telah di analisis.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab 1 membahas tentang penjelasan terkait latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi terkait tugas akhir ini.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab 2 membahas tentang penelitian-penelitian terkait tugas akhir ini dan juga tentang landasan teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini seperti studi analisis aliran daya menggunakan metode Newton Raphson, stabilitas tegangan, kurva Pv, sensitivitas tegangan, Static Var Compensator (SVC).

Bab 3 : Perancangan dan Pemodelan

Bab 3 membahas tentang tahapan perencanaan yang akan dilakukan pada tugas akhir ini, yaitu mengenai data yang digunakan dalam tugas akhir ini, perangkat lunak yang akan digunakan, dan perancangan tentang simulasi yang dilakukan pada tugas akhir ini.

Bab 4 : Simulasi dan Analisis

Bab 4 membahas tentang hasil simulasi yang dilakukan dalam menentukan penempatan SVC dan analisis mengenai stabilitas tegangan.

Bab 5 : Penutup

Bab 5 ini membahas tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil simulasi dan analisis mengenai stabilitas tegangan serta

saran untuk perbaikan dan pengembangan serta referensi bagi mahasiswa yang akan melakukan penelitian terhadap masalah yang serupa.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi terhadap kemajuan teknologi dalam bidang sistem tenaga, lebih khususnya pada permasalahan-permasalahan yang terjadi pada optimasi saluran *backbone* menggunakan peralatan FACTS. Dan hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini dapat menjadi dasar dan referensi untuk penelitian mahasiswa yang akan melakukan penelitian serupa sebagai Tugas Akhir.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan ditampilkan rangkuman peneitian yang terkait dengan tugas akhir ini. Kajian penelitian terkait diberikan di subbab 2.1, sedangkan dasar teori yang berhubungan dengan topic tugas akhir ini diberikan pada subbab-subbab berikutnya.

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Tabel 2.1. Penelitian Sebelumnya

| Nama Peneliti | Judul Penelitian | Hasil Penelitian |
|--|---|--|
| R.D. Putra, 2017[1] | PEMASANGAN SVC UNTUK PERBAIKAN STABILITAS TEGANGAN SISTEM TRANSMISI JAMALI 500 KV SETELAH PENAMBAHAN PEMBANGKIT 1575 MW PADA TAHUN 2017 | Pemasangan SVC dapat memperbaiki profil tegangan sehingga dapat berada pada batas toleransi. Sebelum pemasangan SVC profil tegangan pada bus 9 yaitu 0,93636 pu, setelah pemasangan SVC profil tegangan menjadi 0,95609 pu. |
| Perbedaan: penelitian yang dilakukan R.D. Putra menggunakan sistem tranmisi JAMALI 500 KV sedangkan sistem yang diteliti penulis adalah system <i>backbone</i> Kalimantan 275 KV | | |

Tabel 2.1. Penelitian Sebelumnya (lanjutan 1)

| Nama Peneliti | Judul Penelitian | Hasil Penelitian |
|---|---|--|
| Fitri Nur Eka, 2017[2] | PENEMPATAN OPTIMAL FACTS DEVICES PADA SISTEM TRANSMISI JAWA-MADURA-BALI 500 KV TAHUN 2017 UNTUK MENINGKATKAN <i>POWER TRANSFER CAPABILITY</i> | Penempatan optimal TCSC pada saluran transmisi Jamali Tahun 2017 dapat meningkatkan <i>power transfer capability</i> yaitu pada saluran 8 atau saluran 6-14. |
| Perbedaan: penelitian yang dilakukan Fitri Nur Eka menggunakan peralatan FACTS yaitu TCSC sedangkan peralatan FACTS yang digunakan penulis yaitu SVC. | | |

2.2 Studi Aliran Daya

Dalam sistem tenaga listrik studi aliran daya merupakan dasar dari pengoperasian sistem tenaga listrik. Pada studi aliran daya sangat penting untuk di lakukan perhitungan untuk memperoleh tegangan dan arus pada setiap bagian yang berbeda-beda pada suatu sistem tenaga listrik[3]. Hal ini sangat penting tidak hanya untuk mendesain komponen sistem tenaga listrik yang berbeda-beda tersebut seperti beberapa generator, saluran, transformator, kapasitor bank, dan lain-lain. Tetapi juga dapat berguna agar sistem tenaga listrik dapat bertahan mengalami fluktuasi beban selama operasi *steady state*[4].

2.2.1 Analisis Aliran Daya

Pada sistem tenaga listrik terdapat 4 besaran yang berhubungan dengan setiap bus pada sistem yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), sudut fasa (δ), dan magnitude tegangan |V|. Pada aliran daya terdapat dua besaran yang harus di perhitungkan menggunakan persamaan aliran daya dan dua lainnya telah ditentukan. Pada praktiknya dalam melakukan analisis aliran daya juga bertujuan untuk mengidentifiaksi tiga tipe bus pada jaringan. Pada setiap bus dua dari empat besaran δ , P, Q, dan |V| telah di tentukan dan dua lainnya di perhitungkan. Besaran yang akan ditentukan dipilih berdasarkan tiga tipe bus pada sistem tenaga listrik [3]:

1. *Load buses*. Pada setiap non generator bus, dapat disebut *load bus*. Daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari beban telah diketahui sehingga selanjutnya memperhitungkan besaran sudut fasa (δ) dan magnitude tegangan ($|V|$).
2. *Voltage-controlled buses* atau bus generator adalah bus yang memiliki besaran daya reaktif (P) dan magnitude tegangan $|V|$ telah ditentukan. Sehingga daya reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) merupakan variabel yang akan di cari.
3. *Slack/swing bus* atau *reference bus* adalah bus yang memiliki magnitude tegangan $|V|$ dan sudut fasa (δ) yang telah ditentukan. Sedangkan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) berubah-ubah sesuai dengan yang dibutuhkan oleh sistem.

Dalam melakukan analisis aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik diperlukan beberapa data pada bus dan saluran transmisi :

Data- data yang di butuhkan pada suatu bus yaitu :

1. Magnitude tegangan $|V|$ dalam satuan per unit (p.u.).
2. Sudut fasa (δ)
3. Daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada besar pembebanan.
4. Daya aktif (P), daya reaktif (Q), Q_{min} dan Q_{max} pada besar pembangkitan.

Data- data yang di butuhkan pada saluran transmisi yaitu :

1. Resistansi saluran transmisi dalam satuan p.u.
2. Reaktansi saluran transmisi dalam satuan p.u.
3. Tap transformator.
4. Rating tegangan dalam satuan kV.

2.2.2 Sistem per-unit (pu)

Karena berbagai macam keuntungan dalam penggunaan satuan per-unit, pada sistem tenaga listrik dalam melakukan perhitungan analisis sistem tenaga listrik untuk mendapatkan nilai impedansi, arus, tegangan, dan daya yang dalam satuan per-unit bukan dalam satuan sebenarnya seperti ohm, ampere, kilovolt, dan megavolt-ampere (atau megavar atau megawatt). Sistem pu adalah sarana untuk mempresentasikan agar mudah dalam

membandingkannya. Nilai pu tersebut didefinisikan sebagai rasio kuantitas terhadap basis yang ditentukan nilai yang memiliki dimensi yang sama. Oleh karena itu nilai pu pada semua kuantitas bisa di definisikan sebagai kuantitas sebenarnya[5].

$$\text{nilai pu} = \frac{\text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai dasar}} \quad (2.1)$$

Dimana nilai sebenarnya mengacu pada nilai yang di berikan dalam satuan ohm, ampere volt, dan sebagainya. Nilai dasarnya juga disebut nilai satuan karena dalam sistem pu, nilai tersebut memiliki satu atau kesatuan[6].

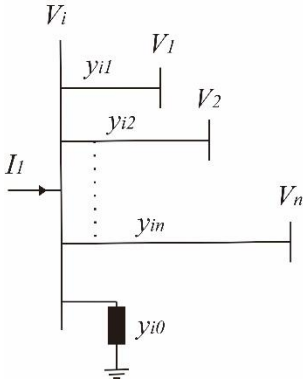
Nilai impedansi dasar (Z_{base}) dapat di tentukan menggunakan persamaan berikut:

$$Z_{base} = \frac{[KV_{base(L-N)}]^2}{MVA_{base(1\phi)}} \quad (2.2)$$

Nilai arus dasar (I_{base}) dapat di tentukan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{base} = \frac{KVA_{base(1\phi)}}{KV_{base(L-N)}} \quad (2.3)$$

2.2.3 Persamaan Aliran daya



Gambar 2.1 Tipikal Bus Sistem Tenaga Listrik[7]

Representasi dari bus tipikal pada sistem tenaga listrik dapat di lihat pada gambar. Jaringan sistem tenaga seperti gambar impedansi-impedansi saluran transmisinya telah di ubah menjadi admitansi-admitansi per-unit pada nilai dasar MVA. Aplikasi dari hukum kirchoff dari bus seperti gambar di berikan dengan persamaan [7]:

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \quad (2.4)$$

$$I_i = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (2.5)$$

Atau

$$I_i = V_i + \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} - V_j \quad j \neq i \quad (2.6)$$

Keterangan :

V_i = Tegangan pada bus i

I_i = Arus yang mengalir pada bus i

y_{in} = Admintasi diantara bus i dan bus n

y_{i0} = Admintasi diantara bus i ke tanah

V_j = Tegangan pada bus j

y_{ij} = Admintasi diantara bus i dan bus j

Persamaan daya aktif dan daya reaktif pada bus I yaitu :

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.7)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.8)$$

Keterangan :

- V_i = Tegangan pada bus i
 I_i = Arus yang mengalir pada bus i
 P_i = Daya aktif pada bus i
 Q_i = Daya reaktif pada bus i

2.2.4 Aliran Daya menggunakan metode Newton Raphson

Persamaan aliran daya dapat diselesaikan menggunakan metode newton raphson. Deret Taylor merupakan dasar dari metode Newton Raphson dalam penyelesaian aliran daya dapat melakukan konvergensi kuadratik yang baik, lebih sedikit menggunakan iterasi, dan perhitungan lebih cepat.

Arus yang memasuki bus i dari gambar 2.2 Memiliki persamaan dan dapat di tulis ulang menjadi :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.12)$$

Persamaan diatas akan di ubah menjadi bentuk polar, maka persamaan tersebut akan menjadi :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.13)$$

Diberikan daya kompleks pada bus i maka menjadi :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.14)$$

Kemudian di substitusikan persamaan 2.13 untuk I_i ke dalam persamaan 2.14 sehingga daya kompleks pada bus i adalah :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.15)$$

Untuk mendapatkan daya aktif dan daya reaktif pada bus i maka di pisahkan antara komponen riil dan imajinernya, yaitu :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.16)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.17)$$

Dari persamaan diatas yaitu persamaan 2.16 dan 2.17 merupakan persamaan non linier dengan besaran tegangan dalam satuan per unit, sudut dalam radian dan terdiri dari variable bebas. Pada setiap bus memiliki satu persamaan untuk bus bus generator dan dua persamaan untuk bus beban yaitu persamaan 2.16 dan 2.17 Kemudian kedua persamaan diatas di kembangkan menjadi deret Taylor pada persamaan :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \dots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \dots \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \dots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \dots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \dots \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \dots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix}$$

Pada hal ini, diasumsikan bahwa bus 1 adalah *slack bus*. Hubungan yang linier antara sedikit perubahan dalam sudut tegangan $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan besarnya tegangan $\Delta |V_i^{(k)}|$ serta sedikit perubahan pada daya aktif $\Delta P_i^{(k)}$ dan daya reaktif $\Delta Q_i^{(k)}$ hubungan linier tersebut di berikan oleh Matriks Jacobian. Matrik Jacobian memiliki elemen-elemen yang merupakan turunan parsial atau merupakan sebagian dari persamaan 2.16 dan 2.17 yang merupakan turunan terhadap $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V_i^{(k)}|$. Dapat juga di tuliskan dalam pemodelan pendek sebagai :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ - \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ - & - \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ - \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Pada *voltage-controlled* bus, telah diketahui nilai tegangan. Maka dari itu, apabila di dalam suatu system yang terdiri dari n bus, m generator, maka akan dihilangkan m persamaan untuk ΔV dan ΔQ pada suatu kolom matriks Jacobian. Dan juga Terdapat konstrain yang berkaitan dengan daya aktif adalah $n-1$, dan konstrain daya reaktif adalah $n-1-m$. Sedangkan matriks Jacobian memiliki ukuran matriks $(2n-2-m) \times (2n-2-m)$. Elemen J1 memiliki ukuran matriks $(n-1) \times (n-1)$. Elemen J2 memiliki ukuran matriks $(n-1) \times (n-1-m)$. Elemen J3 memiliki ukuran matriks $(n-1-m) \times (n-1)$ dan Elemen J4 memiliki ukuran matriks $(n-1-m) \times (n-1-m)$.

Untuk elemen J1 memiliki persamaan diagonal dan off-diagonal sebagai :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq 1 \quad (2.20)$$

Berikut adalah persamaan diagonal dan off-diagonal dari elemen J2 :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}|\cos \theta_{ii} + \sum_{j=1}^n |V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq 1 \quad (2.22)$$

Berikut adalah persamaan diagonal dan off-diagonal dari elemen J3 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq 1 \quad (2.24)$$

Berikut adalah persamaan diagonal dan off-diagonal dari elemen J4 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ii}|\cos \theta_{ii} + \sum_{j=1}^n |V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq 1 \quad (2.26)$$

2.3 Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan nilai tegangan di semua bus agar tetap pada batas yang diijinkan saat dalam kondisi operasi normal atau setelah mengalami gangguan. Tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan atau mengembalikan keseimbangan antara permintaan beban dan memuat pasokan dari sistem tenaga. Ketidakstabilan yang mungkin muncul dalam drop tegangan atau naiknya tegangan beberapa bus. Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi karena hilangnya beban di suatu area, atau terputusnya jalur transmisi dan elemen lainnya yang kemudian akan menyebabkan hilangnya sinkronisme generator[8].

Stabilitas tegangan dapat di klasifikasikan menjadi empat kategori[7], [9][10]:

2.3.1 Stabilitas Tegangan *Large-disturbance*

Gangguan ini mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan stabilitas tegangan pada gangguan besar seperti gangguan pada sistem, terputusnya generator. Kemampuan ini ditentukan oleh karakteristik sistem dan beban, dan kesinambungan interaksi antara keduanya dan control dan proteksi.

2.3.2 Stabilitas Tegangan *small-disturbance*

Stabilitas tegangan gangguan kecil ini mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan stabilitas tegangan ketika mengalami gangguan kecil seperti penambahan beban pada sistem.

2.3.3 Stabilitas Tegangan *Short-term*

Stabilitas tegangan jangka pendek melibatkan dinamika komponen beban kerja cepat seperti motor induksi, beban yang dikontrol secara elektronik dan converter HVDC (High Voltage Direct Current).

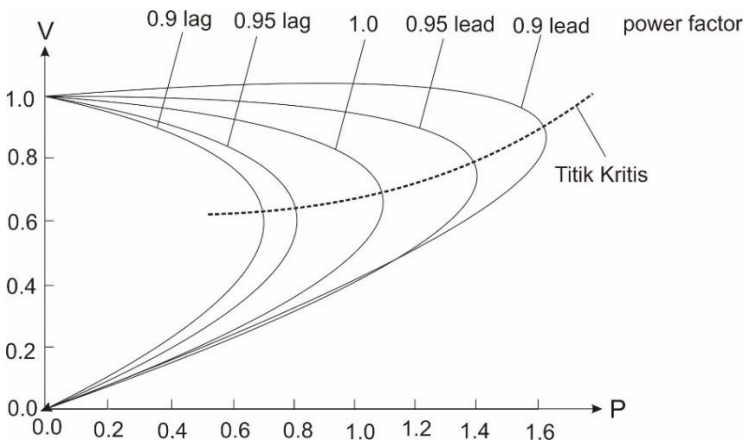
2.3.4 Stabilitas Tegangan *Long-term*

Stabilitas tegangan jangka panjang melibatkan peralatan kerja yang lebih lambat seperti *tap-changing* transformator, kontrol termostatik pembatas arus beban dan generator.

2.4 Kurva PV

Ketidakstabilan tegangan sering menjadi objek dalam penelitian untuk dianalisis seperti pada permasalahan-permasalahan kondisi *steady state*. Dalam proses analisis stabilitas tegangan metode utama digunakan adalah simulasi aliran daya. Terdapat dua metode dasar lain yang paling luas digunakan dalam analisis stabilitas tegangan yaitu kurva P-V dan kurva Q-V.

Kurva PV di gunakan untuk menganalisis stabilitas tegangan dengan cara melihat pada saat total beban (MW) berapa terjadi kollaps pada tegangan sistem. Pada saat tegangan sistem terjadi kollaps maka total beban saat kollaps itulah yang merupakan batas kemampuan sistem dalam menyalurkan daya aktif. Berikut adalah gambar dari dari kurva PV :



Gambar 2.2 Kurva P-V[9], [11], [12][1]

Pada gambar 2.3 tersebut terdapat garis putus-putus yang menyatakan titik tersebut adalah batas titik kritis. Titik tersebut dapat menjadi batas kemampuan beban pada kondisi *steady state* untuk stabilitas tegangan jaringan. Kondisi dibagian bawah titik kritis merupakan daerah dimana jaringan dalam kondisi operasi tidak stabil, sedangkan dibagian atas titik kritis merupakan daerah dimana jaringan dalam kondisi operasi stabil.

2.5 Sensitivitas Tegangan

Sensitivitas tegangan merupakan keadaan dimana pada saat suatu bus diberikan penambahan beban, keadaan tegangan pada bus tersebut mengalami penurunan tegangan. Adanya penambahan suatu beban daya aktif dan daya reaktif (P dan Q) dapat menyebabkan bus beban mengalami penurunan tegangan. Jika terjadi penambahan beban pada bus beban sedangkan pada sumber listrik tidak dilakukan penambahan sumber listrik maka akan mengakibatkan drop tegangan atau penurunan tegangan pada bus beban tersebut[13].

Dalam menganalisis sensitivitas tegangan pada setiap bus dalam jaringan digunakan metode Newton Raphson. Bus yang paling sensitive didapatkan dari dilakukannya perhitungan terhadap perubahan tegangan (ΔV) pada setiap bus dalam jaringan. Sehingga akan terjadi drop tegangan pada bus tersebut ketika di berikan penambahan beban daya aktif dan daya reaktif (P dan Q). Berikut adalah persamaan drop tegangan pada bus[14] :

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^k| + \Delta |V_i^k| \quad (2.27)$$

Dari persamaan 2.27 didapatkan :

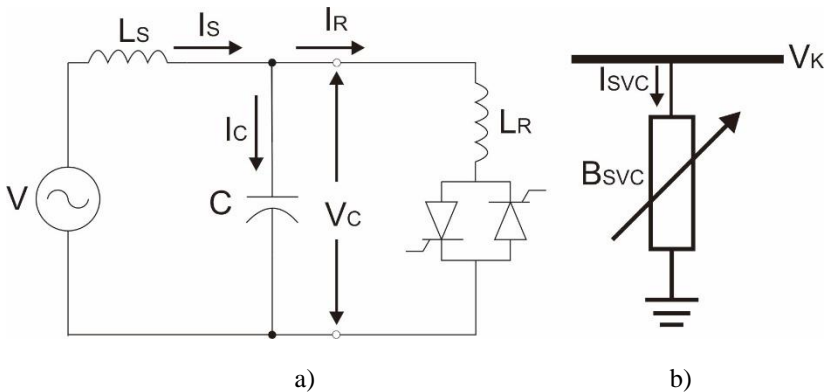
$$\Delta |V_i^k| = |V_i^{(k+1)}| - |V_i^k| \quad (2.28)$$

2.6 Static Var Compensator (SVC)

Static Var Compensator (SVC), menurut *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) adalah sebuah Var statis generator yang outputnya divariasikan untuk mengubah arus kapasitif atau arus induktif untuk menjaga atau mengendalikan parameter khusus dari sistem tenaga listrik, biasanya tegangan pada bus.

Tujuan utama dari SVC biasanya adalah untuk mengendalikan tegangan dengan reaksi cepat pada bagian yang lemah dalam suatu jaringan tenaga listrik[15].

Dalam bentuk yang paling sederhana, SVC terdiri dari Thyristor Controlled Reactor (TCR) secara parallel dengan *fixed capacitor*. Dari sudut pandang operasional, SVC berperilaku seperti reaktan variable yang terhubung shunt, yang berfungsi untuk menginjeksikan atau menyerap daya reaktif untuk mengendalikan besarnya tegangan pada titik koneksi ke jaringan AC. Hal tersebut digunakan secara ekstensif untuk memberikan dengan cepat daya reaktif dan untuk membantu regulasi tegangan. Kontrol sudut dari thyristor memungkinkan SVC memiliki kecepatan respon yang hampir seketika[16]. SVC sebagai susceptansi variable dalam pemodelannya dapat kita tentukan besar daya reaktif yang di injeksikan atau yang diserap pada sistem.



Gambar 2.3 SVC sebagai Suseptansi variable a) Rangkaian FC-TCR; b) Model SVC

Menurut Gambar 2.3 persamaan dalam mencari arus yang mengalir pada SVC adalah :

$$I_{SVC} = j B_{SVC} V_{bus} \quad (2.29)$$

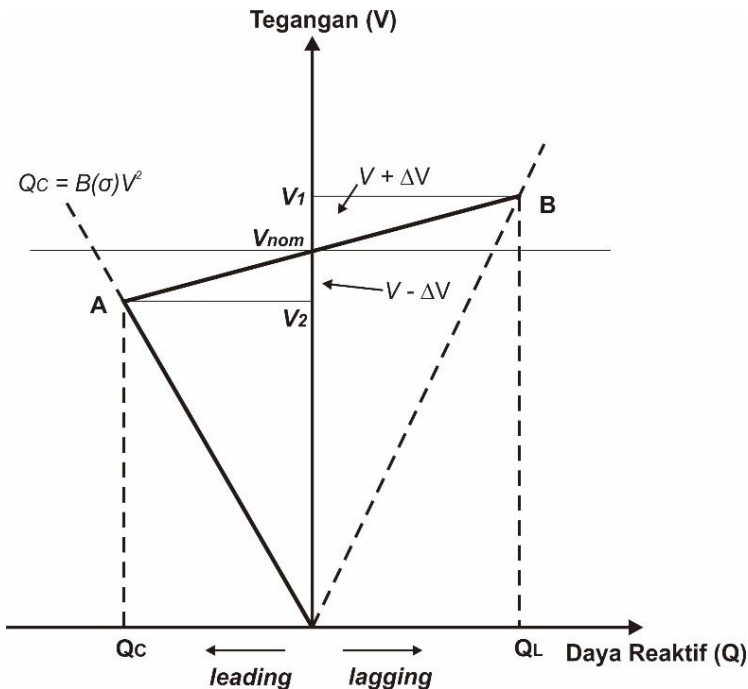
Berikut adalah persamaan besar dari susceptansi SVC (B_{SVC}) yang dinyatakan sebagai fungsi sudut konduksi thyristor (σ) :

$$B_{SVC} = B_C - B_L(\sigma) \quad (2.30)$$

Daya reaktif yang diinjeksikan ke bus oleh SVC dapat di perhitungkan berdasarkan persamaan 2.29 dan 2.30

$$Q_{SVC} = -B_{SVC}V_{bus}^2 \quad (2.31)$$

Berikut adalah kurva daya reaktif yang dihasilkan oleh SVC terhadap tegangan bus yang dipasang SVC :



Gambar 2.4 Kurva tegangan dan daya reaktif pada SVC

SVC memiliki tiga area kerja, yaitu [17]:

- a. Area kerja Pertama terletak diantara V_1 dan V_2 . Pada area tersebut, SVC memiliki sifat induktif atau kapasitif. Dan menghasilkan daya reaktif yang berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan sistem dan hal ini berkaitan dengan persamaan 2.31.
- b. Area kerja kedua pada saat tegangan bus melebihi V_1 . Pada area ini SVC bersifat induktif.
- c. Area kerja ketiga pada saat tegangan kurang dari V_2 . Pada area ini SVC hanya berfungsi sebagai *fixed capacitor*.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab tiga ini akan dibahas metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Dimulai dari sistem tenaga listrik yang akan menjadi objek dalam penelitian pada tugas akhir ini yaitu menggunakan *backbone* Kalimantan yang terdiri dari Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara. Kemudian untuk melakukan simulasi aliran daya pada *backbone* Kalimantan yaitu menggunakan *software* simulasi ETAP 12.6.0 dan matlab untuk plot dari kurva PV.

Setelah simulasi aliran daya dilakukan, selanjutnya adalah perhitungan dalam mencari bus yang akan dipasang SVC, yaitu bus yang paling sensitif. Bus yang paling sensitif tersebut akan dianalisis stabilitas tegangannya dengan menggunakan kurva PV. Perhitungan untuk mencari kapasitas dari SVC agar ketika bus paling sensitif tersebut sampai pada titik kritisnya ketika dipasang SVC, tegangan pada bus tersebut masih dalam batas toleransi, yaitu sebesar 95% - 105% dari tegangan nominal jaringan. Selanjutnya, akan dilakukan perbandingan terhadap tegangan pada bus paling sensitif tersebut pada saat sebelum dipasang SVC dan ketika dipasang SVC.

3.1 Metodologi

Berikut adalah metode yang akan digunakan dalam penelitian pada tugas akhir ini :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk membantu pemahaman terhadap pengerjaan penelitian tugas akhir.

2. Pengumpulan Data

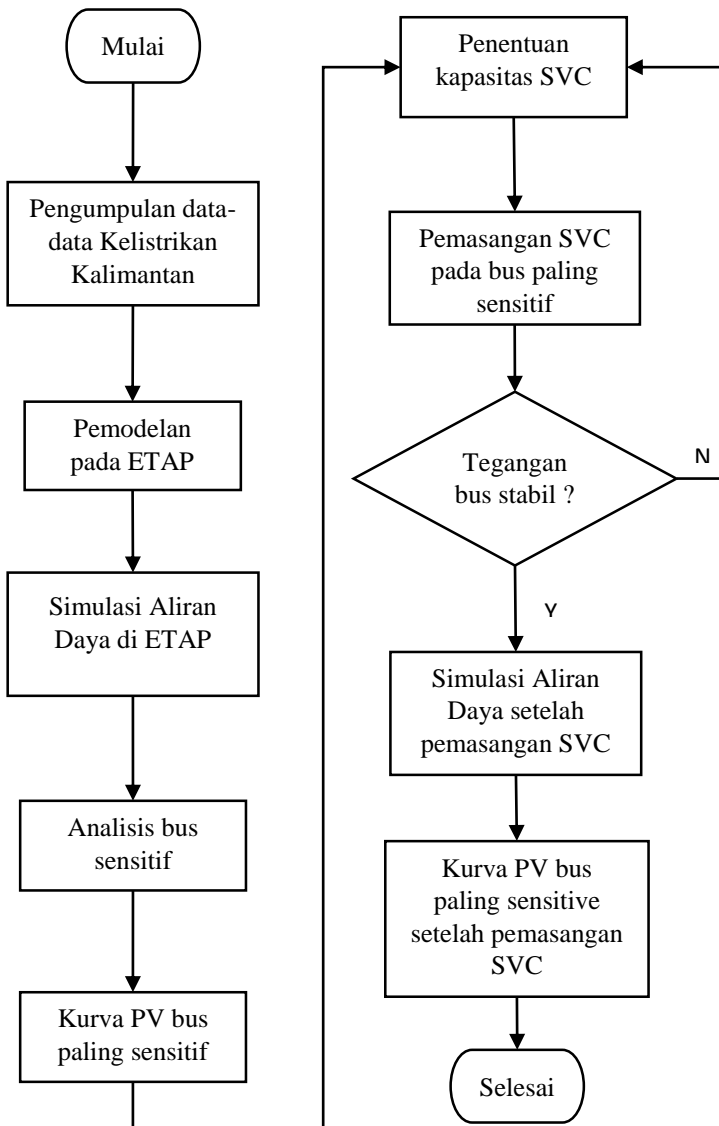
Data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data sistem kelistrikan Kalimantan 275 KV yaitu berupa data pembangkitan, data saluran, dan data beban pada sistem.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Sistem tenaga listrik yang dimodelkan dan disimulasikan yaitu pada sistem *backbone* Kalimantan 275 kV.

4. Analisis dan Perbandingan

Akan dilakukan analisis dan perbandingan untuk aliran daya sebelum dan sesudah penambahan SVC.



Gambar 3.1 *Flowchart* metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir

Berikut merupakan penjelasan detail dari *flowchart* gambar 3.1 mengenai metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir :

Langkah 1 : Mengumpulkan data-data kelistrikan *backbone* Kalimantan 275 kV seperti data beban, impedansi saluran, impedansi generator dan lain-lain.

Langkah 2 : Memodelkan sistem kelistrikan Kalimantan 275 kV dan 150 kV pada perangkat lunak ETAP menggunakan metode Newton Raphson.

Langkah 3 : Melakukan simulasi *load flow analysis* atau simulasi aliran daya pada perangkat lunak ETAP.

Langkah 4 : Mencari bus 275 kV yang paling sensitif dengan dengan melakukan penambahan beban dan di dapat bus yang memiliki drop tegangan tertinggi atau yang memiliki sensitivitas tegangan tertinggi.

Langkah 5 : Membuat kurva pv dari bus yang paling sensitif sebelum pemasangan SVC.

Langkah 6 : Dilakukan penentuan kapasitas SVC yaitu dengan mengasumsikan kapasitas SVC agar bus paling sensitif memiliki tegangan pada batas yang di iijinkan pada saat titik kritis.

Langkah 7 : Dilakukan pemasangan SVC pada bus paling sensitif.

Langkah 8 : Dilakukan simulasi aliran daya pada ETAP setelah pemasangan SVC.

Langkah 9 : Menganalisis dengan cara membandingkan tegangan bus sensitif Sebelum pemasangan SVC dan sesudah pemasangan SVC Menggunakan kurva PV.

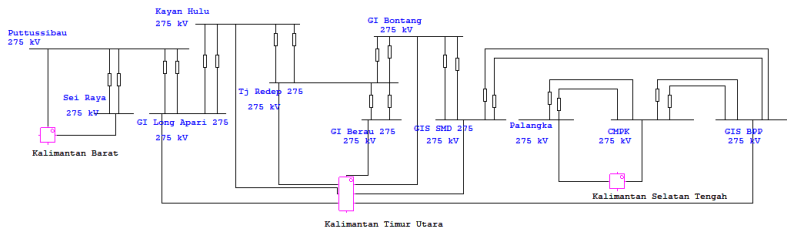
3.2 Data Kelistrikan Kalimantan 275 kV

Dalam melakukan analisis stabilitas tegangan diperlukan adanya pemodelan sistem tenaga listrik, pada penelitian ini sistem tenaga listrik yang digunakan adalah sistem kelistrikan *backbone* Kalimantan 275 kV. Namun pada tugas akhir juga dimodelkan saluran transmisi Kalimantan dengan tegangan 150 kV.

Data-data kelistrikan yang diperlukan dalam memodelkan sistem kelistrikan kalimantan ini yaitu data beban Kalimantan tahun 2026, data pembangkitan Kalimantan tahun 2026, Impedansi pembangkit, dan data *line transmission* (Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara). Berikut data-data kelistrikan Kalimantan yang digunakan :

1. Single Line Diagram backbone Kalimantan 275 kV

Untuk pemodelan *backbone* Kalimantan 275 kV dimodelkan menggunakan *single line diagram* pada *software* ETAP yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Backbone Kalimantan 275 kV

2. Data Beban Kalimantan Tahun 2026

Tabel 3.1 Data Beban Kalimantan tahun 2026

| No. | NAMA GI | Teg.(kV) | Beban Puncak Tahun 2026 (MW) |
|-----|----------------------------|----------|------------------------------|
| 1 | GI BERAU | 150/20 | 52 |
| 2 | GI BULUNGAN/ TANJUNG SELOR | 150/20 | 26,84 |
| 3 | GI SEKATAK | 150/20 | 4,3 |
| 4 | GI MALINAU | 150/20 | 20,13 |
| 5 | GI KRAYAN | 150/20 | 1,05 |
| 6 | GI KAYAN HULU | 150/20 | 1,05 |
| 7 | GI TANA TIDUNG | 150/20 | 3,88 |
| 8 | GI TALISAYAN | 150/20 | 2,92 |
| 9 | GI PLTU LATI | 150/20 | 7,05 |
| 10 | GI SEBUKU | 150/20 | 1,22 |

Dari Tabel 3.1 terlihat bahwa setiap GI memiliki perkiraan beban puncak pada tahun 2006. Untuk data keseluruhan GI yang ada pada Kalimantan dapat dilihat pada Lampiran 1.

3. Data Pembangkitan Kalimantan

Tabel 3.2 Data Pembangkitan Kalimantan

| No. | Provinsi | ID | Jenis | Unit | Kapasitas [MW] |
|-----|------------------|-------------------|-------|----------|----------------|
| 1 | Kalimantan Barat | Parit Baru (FTP1) | PLTU | #1,2 | 2x50 |
| 2 | | MPP Kalbar (PLTG) | PLTG | #1,2,3,4 | 4x25 |
| 3 | | Kalbar Peaker | PLTG | #1,2,3,4 | 4x25 |
| 4 | | Parit Baru (FTP2) | PLTU | #1,2 | 2x55 |
| 5 | | Pantai Kura-Kura | PLTU | #1,2 | 2x27.5 |
| 6 | | Kalbar 1 | PLTU | #1,2 | 2x100 |

Berdasarkan table 3.2 dapat dilihat bahwa Kalimantan Barat memiliki beberapa pembangkit yaitu PLTU dan PLTG dengan unit dan kapasitas yang berbeda-beda. Untuk lebih lengkap tentang data pembangkit dari Kalimantan yaitu pembangkit pada Kalimantan Selatan, Kalimantan Utara, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Timur dapat dilihat pada lampiran 2.

4. Impedansi Pembangkit Kalimantan

Tabel 3.3 Impedansi Pembangkit Kalimantan

| Jenis | Kapasitas [MW] | Apparent Power [MVA] | x_d | x_q | x_d' | x_q' |
|-------|----------------|----------------------|-------|-------|--------|--------|
| PLTU | 50 | 62,5 | 1,05 | 0,98 | 0,185 | 0,36 |
| PLTG | 25 | 31,25 | 1,27 | 1,24 | 0,209 | 0,85 |
| PLTU | 65 | 85,312 | 1,18 | 1,05 | 0,223 | 0,38 |
| MPP | 2x30 | 63,5 | 2,25 | 1,805 | 0,223 | 0,3 |
| PLTA | 100 | 125 | 1,22 | 1,16 | 0,174 | 0,25 |
| PLTU | 25 | 31,25 | 1,4 | 1,372 | 0,231 | 0,715 |
| PLTMG | 10 | 12,163 | 1,07 | 0,66 | 0,408 | |

Pada tabel 3.3 terlihat bahwa setiap jenis dan kapasitas memiliki parameter yang berbeda. Untuk lebih lengkap tentang data jenis, kapasitas, dan parameter-parameter yang digunakan dapat dilihat pada lampiran 3.

5. Data line transmission Kalimantan

Tabel 3.4 Data line transmission Kalimantan

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 1 | Sambas | Singkawang | ACSR 1x240mm | doubl e | 275,2 |
| 2 | Singkawang | Bengkayang | ACSR 1x240mm | doubl e | 294,2 6 |
| 3 | Bengkayang | Ngabang | ACSR 2x240mm | doubl e | 180 |
| 4 | Ngabang | Tayan | ACSR 2x240mm | doubl e | 110 |
| 5 | Tayan | Siantan | ACSR 1x240mm | doubl e | 184 |
| 6 | Siantan | Sei Raya | ACSR 1x240mm | doubl e | 72,12 |
| 7 | Siantan | Kota Baru | ACSR 1x240mm | single | 39,69 |

Pada Tabel 3.4 terlihat beberapa data yaitu data saluran transmisi antar GI, kabel transmisi, dan panjang yang digunakan serta ukuran kabel transmisi. Untuk data lebih lengkap mengenai data seluruh *line transmission* Kalimantan dapat dilihat pada lampiran 4,5,6.

6. Impedansi Saluran Kalimantan

Tabel 3.5 Data impedansi saluran Kalimantan

| No. | Penampangan | R' positif (Ohm/km) | R' negatif (Ohm/km) | R'0 (Ohm/km) | X' (Ohm/km) |
|-----|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | ACSR 1x240mm | 0,1183 | 0,1183 | 0,321 | 0,40694 |

Tabel 3.5 Data impedansi saluran Kalimantan (lanjutan 1)

| No. | Penampang g | R' positif (Ohm/km) | R' negatif (Ohm/km) | R' ⁰ (Ohm/km) | X' (Ohm/km) |
|-----|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|
| 2 | ACSR 2x240mm | 0,06 | 0,06 | 0,261095 | 0,29614 |
| 3 | Single Hawk | 0,129 | 0,129 | 0,554 | 0,4049 |
| 4 | Double Hawk | 0,0647 | 0,0647 | 0,554 | 0,28 |
| 5 | Double Zebra | 0,0199 | 0,0199 | 0,554 | 0,2874 |

Dari table 3.5 Terlihat bahwa setiap macam penampang memiliki impedansi yang berbeda-beda dan meskipun macam yang sama tapi ukuran berbeda memiliki impedansi yang berbeda pula. Untuk lebih lengkap mengenai data impedansi saluran Kalimanta dapat dilihat pada lampiran 7.

3.3 ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)

Dalam melakukan proses aliran daya sistem tenaga listrik telah tersedia beberapa perangkat lunak. Salah satunya adalah ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) perangkat lunak ini memiliki beberapa *tools* seperti *load flow analysis*, *Short-Circuit Analysis*, *Motor Acceleration Analysis*, *Harmonic analysis*, dan lain-lain. Pada tugas akhir digunakan perangkat lunak ETAP dengan *tools* yaitu menggunakan *load flow analysis*. Untuk aliran daya dengan pemasangan SVC juga menggunakan perangkat lunak ETAP.

Dalam ETAP *load flow study*, SVC direpresentasikan sebagai sebuah *variable static load*. SVC mengatur tegangan pada busnya dengan mengontrol jumlah dari daya reaktif yang diinjeksikan kedalam sistem tenaga listrik. Ketika menjalankan aliran daya pada suatu sistem yang terpasang SVC, aliran daya akan menentukan tegangan yang ada pada sistem tanpa SVC terlebih dahulu. Jika tegangan awal pada bus yang terpasang SVC lebih rendah dari pada tegangan referensi, SVC akan menginjeksikan daya reaktif. Dan jika tegangan awal pada bus yang terpasang SVC lebih tinggi dari pada tegangan referensi maka SVC akan menyerap daya reaktif.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

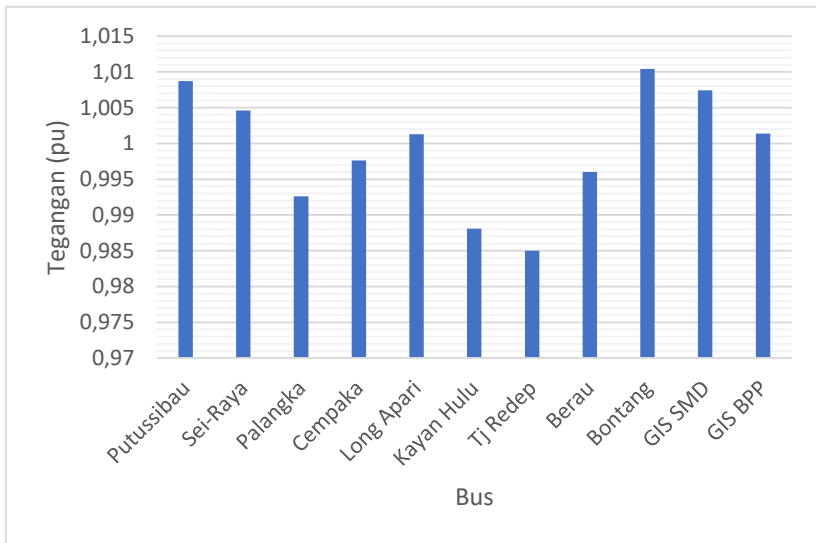
Pada Bab 4 ini, akan dibahas analisis terkait dengan hasil simulasi penentuan lokasi pemasangan SVC dan penentuan SVC pada *backbone* Kalimantan 275 kV pada tahun 2026. Sehingga dapat diketahui bagaimana dampak pemasangan SVC pada stabilitas tegangan pada *backbone* Kalimantan 275 kV. Dalam menentukan penentuan lokasi pemasangan akan dicari bus yang memiliki sensitivitas tegangan paling tinggi. Setelah di temukan lokasi pemasangan SVC atau bus yang memiliki sensitivitas paling tinggi, kemudian akan ditentukan kapasitas dari SVC.

Penentuan kapasitas SVC dilakukan dengan mengasumsikan nilai daya reaktif yang diinjeksikan pada bus yang memiliki sensitivitas tegangan paling tinggi. Sehingga, ketika bus tersebut pembebanannya sampai pada titik kritis, tegangan bus tersebut masih di dalam batas $1 \pm 5\%$ sesuai standar.

Selanjutnya, akan dibuat kurva PV bus tersebut sebelum pemasangan SVC dan setelah pemasangan SVC. Akan dilakukan juga analisis pemasangan tersebut terhadap stabilitas tegangan bus tersebut.

4.1 Aliran Daya pada keadaan Normal

Simulasi Aliran daya merupakan hal yang harus dilakukan dalam menganalisis stabilitas tegangan. Pada tugas akhir ini akan dilakukan aliran daya pada *backbone* Kalimantan 275 kV pada keadaan normal dimana belum adanya penambahan beban dan belum ada pemasangan SVC pada bus 275 kV. Sehingga dapat menunjukkan tegangan pada setiap bus pada *backbone* Kalimantan 275 kV.



Gambar 4.1 Grafik Tegangan Bus 275 kV

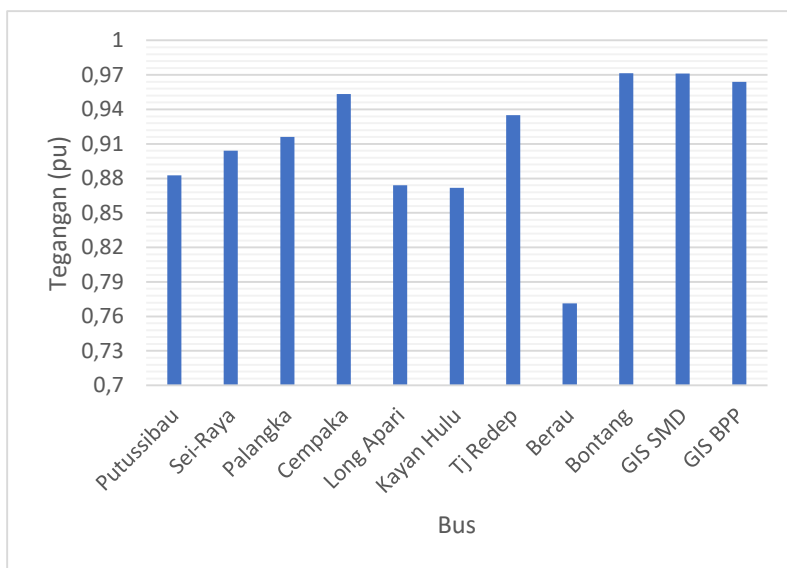
Tabel 4.1 Tegangan bus 275 keadaan normal

| Nama BUS | Tegangan (pu) |
|------------|---------------|
| Putussibau | 1,0087 |
| Sei-Raya | 1,0046 |
| Palangka | 0,9926 |
| Cempaka | 0,9976 |
| Long Apari | 1,0013 |
| Kayan Hulu | 0,9881 |
| Tj Redep | 0,985 |
| Berau | 0,996 |
| Bontang | 1,0104 |
| GIS SMD | 1,0074 |
| GIS BPP | 1,0014 |

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui pada saat belum adanya penambahan beban secara bertahap semua tegangan bus 275 KV pada *backbone* Kalimantan memiliki nilai Antara 0,98-1,015. Nilai tersebut telah memenuhi standar tegangan yaitu $1 \pm 5\%$.

4.2 Analisis Sensitifitas Tegangan

Untuk Mengetahui Lokasi bus yang memiliki sensitivitas tegangan paling sensitif dilakukan simulasi penambahan beban (P dan Q) secara bertahap sampai batas tertentu. Kemudian untuk setiap kasus di bandingkan hasilnya sehingga dapat di tentukan bus yang memiliki drop tegangan paling tinggi atau yang paling sensitif tegangannya.



Gambar 4.2 Grafik Tegangan Bus 275 kV Setelah penambahan beban

Tabel 4.2 Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan SVC

| Nama Bus | Sebelum Penambahan beban(pu) | Setelah Penambahan beban(pu) | $\Delta V(\text{pu})$ |
|------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Putussibau | 1,0087 | 0,8828 | 0,1259 |
| Sei-Raya | 1,0046 | 0,904 | 0,1006 |
| Palangka | 0,9926 | 0,916 | 0,0766 |
| Cempaka | 0,9976 | 0,9535 | 0,0441 |
| Long Apari | 1,0013 | 0,874 | 0,1273 |
| Kayan Hulu | 0,9881 | 0,8718 | 0,1163 |
| Tj Redep | 0,985 | 0,9351 | 0,0499 |
| Berau | 0,996 | 0,7714 | 0,2246 |
| Bontang | 1,0104 | 0,9714 | 0,039 |
| GIS SMD | 1,0074 | 0,9713 | 0,0361 |
| GIS BPP | 1,0014 | 0,9638 | 0,0376 |

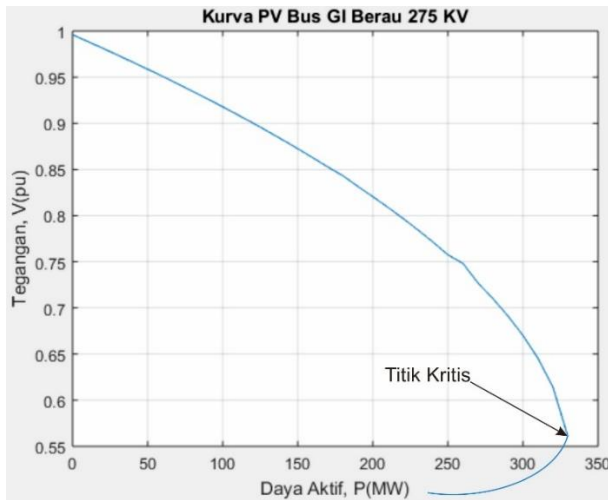
Dari gambar 4.2 dapat dilihat hasil perhitungan ΔV didapatkan bus Berau mengalami drop tegangan terbesar pertama yaitu sebesar 0,2246 pu. Sehingga bus Berau merupakan lokasi pemasangan SVC. Hal ini dikarenakan jarak dengan pembangkit yang lebih jauh dibandingkan dengan beberapa bus yang lain dan bus Berau memiliki beban yang cukup besar jika dibandingkan dengan beban pada bus lain. Jika ditambah beban maka bus Berau lebih cepat dan lebih banyak mengalami drop tegangan dari pada bus-bus lain karena arus yang mengalir akan bertambah dan kemudian akan menyebabkan rugi-rugi saluran. Sehingga terjadi drop tegangan pada bus tersebut.

Tabel 4.3 Tegangan Bus Gi Berau setelah penambahan beban secara bertahap sampai titik kritis

| Bus Gi Berau 275 KV | | | | |
|---------------------|---------|--------|----------|---------|
| NO | V1 (pu) | P (MW) | Q (Mvar) | V2 (pu) |
| 1 | 0,996 | 0 | 0 | 0,996 |
| 2 | 0,996 | 10 | 7 | 0,9887 |
| 3 | 0,9887 | 20 | 14 | 0,9814 |
| 4 | 0,9814 | 30 | 21 | 0,9739 |
| 5 | 0,9739 | 40 | 28 | 0,9663 |

Tabel 4.3 Tegangan Bus Gi Berau setelah penambahan beban secara bertahap sampai titik kritis (lanjutan 1)

| Bus Gi Berau 275 KV | | | | |
|---------------------|---------|--------|----------|---------|
| NO | V1 (pu) | P (MW) | Q (Mvar) | V2 (pu) |
| 6 | 0,9663 | 50 | 35 | 0,9586 |
| 7 | 0,9586 | 60 | 42 | 0,9508 |
| 8 | 0,9508 | 70 | 49 | 0,9428 |
| 9 | 0,9428 | 80 | 56 | 0,9346 |
| 10 | 0,9346 | 90 | 63 | 0,9263 |
| 11 | 0,9263 | 100 | 70 | 0,9179 |
| 12 | 0,9179 | 110 | 77 | 0,9092 |
| 13 | 0,9092 | 120 | 84 | 0,9004 |
| 14 | 0,9004 | 130 | 91 | 0,8913 |
| 15 | 0,8913 | 140 | 98 | 0,882 |
| 16 | 0,882 | 150 | 105 | 0,8725 |
| 17 | 0,8725 | 160 | 112 | 0,8627 |
| 18 | 0,8627 | 170 | 119 | 0,8527 |
| 19 | 0,8527 | 180 | 126 | 0,8432 |
| 20 | 0,8432 | 190 | 133 | 0,8316 |
| 21 | 0,8316 | 200 | 140 | 0,8205 |
| 22 | 0,8205 | 210 | 147 | 0,809 |
| 23 | 0,809 | 220 | 154 | 0,797 |
| 24 | 0,797 | 230 | 161 | 0,7845 |
| 25 | 0,7845 | 240 | 168 | 0,7714 |
| 26 | 0,7714 | 250 | 175 | 0,7575 |
| 27 | 0,7575 | 260 | 182 | 0,7482 |
| 28 | 0,7482 | 270 | 189 | 0,7271 |
| 29 | 0,7271 | 280 | 196 | 0,71 |
| 30 | 0,71 | 290 | 203 | 0,6912 |
| 31 | 0,6912 | 300 | 210 | 0,6701 |
| 32 | 0,6701 | 310 | 217 | 0,6453 |
| 33 | 0,6453 | 320 | 224 | 0,614 |
| 34 | 0,614 | 330 | 231 | 0,5604 |



Gambar 4.3 Kurva PV Bus GI Berau 275 kV

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui Kurva PV dari bus Berau setelah penambahan beban secara bertahap sampai titik kritis pada bus tersebut. Beban yang diberikan secara bertahap yaitu beban P dan Q dengan $\cos \phi$ beban 81,92. Bus Berau memiliki titik kritis pada tegangan 0,5604 pu. Pada keadaan ini nilai tegangan Berau pada titik kritis berada dibawah standar $1 \pm 5\%$. Sehingga akan dilakukan peningkatan stabilitas tegangan pada bus Berau sehingga pada saat pembebanan titik kritis pada keadaan ini bus Berau memiliki nilai tegangan sesuai standar.

4.3 Pemasangan SVC

Pemasangan SVC dilakukan berdasarkan karakteristik kurva PV dari bus sensitif. Pemasangan dilakukan untuk memperbaiki tegangan pada bus yang memiliki sensitivitas tegangan tertinggi dengan cara menginjeksikan daya reaktif (Q). Berdasarkan gambar 4.2 telah diketahui bus Berau memiliki tegangan yang paling drop sehingga bus Berau adalah lokasi penempatan SVC.

Kapasitas SVC yang akan dipasang pada bus Berau diasumsikan 0-300 Mvar. Setelah simulasi pemasangan SVC pada *backbone* Kalimantan 275 KV dipilih injeksi SVC paling besar, agar ketika bus Berau pada saat beban kritis memiliki tegangan yang berada pada standar yaitu $1\pm5\%$. Sehingga besar daya reaktif yang diinjeksikan pada bus Berau adalah 296,3 Mvar.

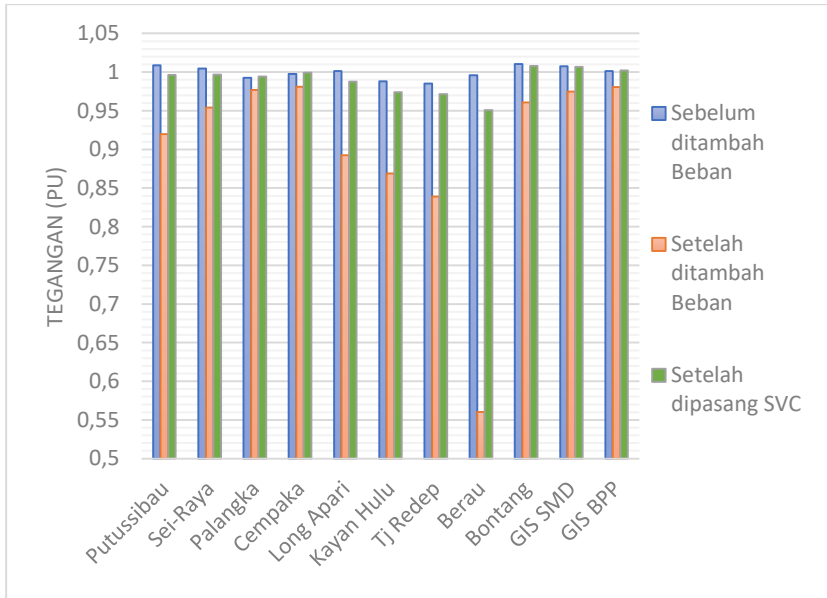
4.4 Analisis Stabilitas Setelah Pemasangan SVC

Pemasangan SVC akan bertindak sebagai suplai daya reaktif atau juga sebagai kompensasi penyerapan daya reaktif oleh beban. Karena salah satu faktor terjadinya drop tegangan pada sisi penerima adalah karena adanya beban yang bersifat induktif.

Hasil perbandingan dari simulasi *load flow* pada ETAP untuk tegangan pada saat sebelum penambahan SVC dan setelah penambahan SVC dapat ditunjukkan pada tabel

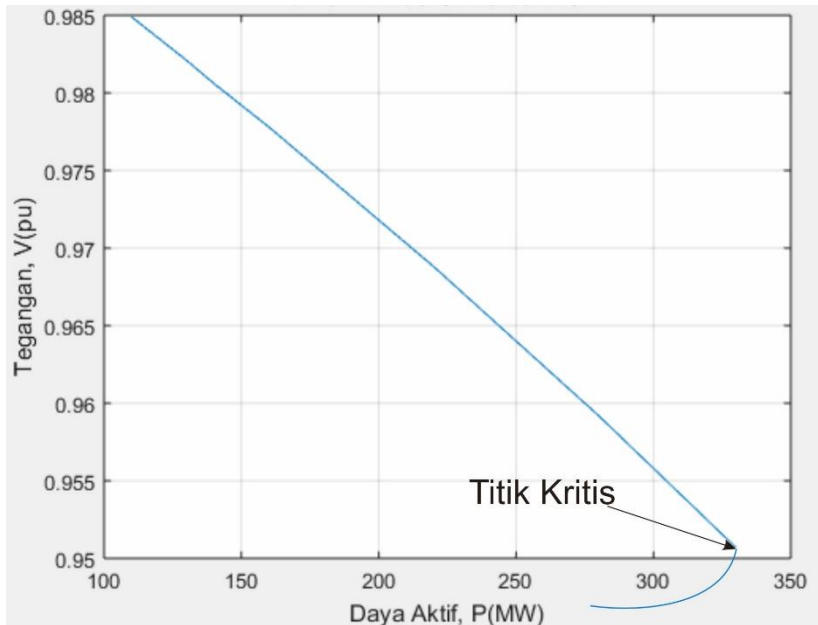
Tabel 4.4 Perbandingan hasil *Load Flow Study backbone* Kalimantan 2026

| Bus | Sebelum Pemasangan SVC | | Setelah Pemasangan SVC | |
|------------|------------------------|--------|------------------------|-------|
| | V (pu) | V (kV) | V(pu) | V(kV) |
| Putussibau | 0,9197 | 252,4 | 0,9962 | 274 |
| Sei-Raya | 0,9542 | 262,4 | 0,9967 | 274,1 |
| Palangka | 0,9768 | 268,6 | 0,9941 | 273,4 |
| Cempaka | 0,9812 | 269,8 | 0,9991 | 274,7 |
| Long Apari | 0,8926 | 245,5 | 0,9877 | 271,6 |
| Kayan Hulu | 0,869 | 239 | 0,9742 | 267,9 |
| Tj Redep | 0,839 | 230,7 | 0,9714 | 267,1 |
| Berau | 0,5604 | 154,1 | 0,9507 | 261,4 |
| Bontang | 0,9607 | 264,2 | 1,0078 | 277,1 |
| GIS SMD | 0,975 | 268,1 | 1,0067 | 276,8 |
| GIS BPP | 0,9806 | 269,7 | 1,0021 | 275,6 |



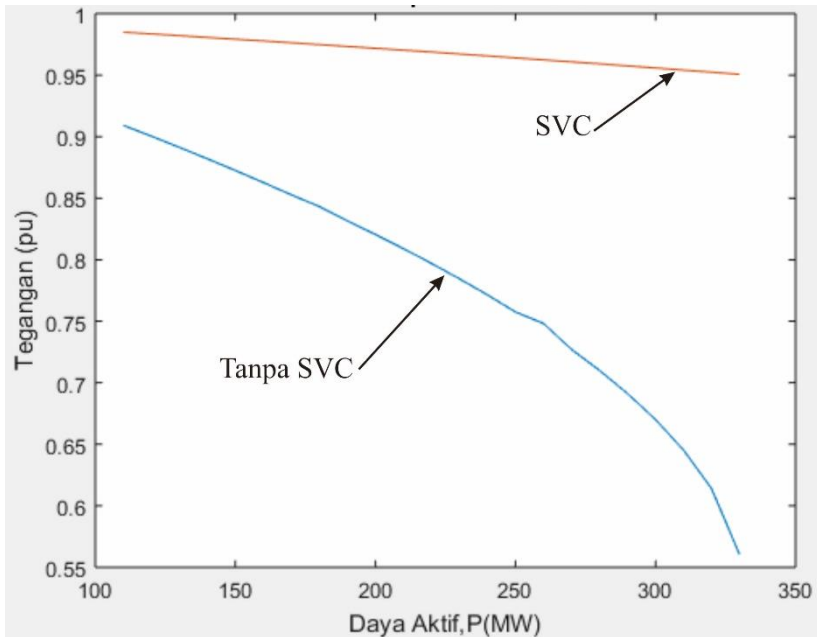
Gambar 4.4 Grafik tegangan bus 275 kV sebelum dan setelah pemasangan SVC

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penambahan beban akan mempengaruhi tegangan pada bus yaitu terjadi penurunan tegangan. Namun setelah dilakukan penambahan beban pada bus Berau mempengaruhi tegangan pada bus yang lain juga yaitu mengakibatkan drop tegangan akibat penambahan beban pada bus Berau. Sehingga perlu adanya perbaikan tegangan pada sistem tersebut. Sehingga dipasang SVC pada bus Berau, SVC berfungsi untuk menginjeksikan daya reaktif pada sistem. Setelah dipasang SVC tegangan pada bus Berau mengalami perbaikan tegangan dari 0,5604 pu menjadi 0,9507 pu sehingga memiliki tegangan yang diijinkan yaitu pada sesuai standar tegangan yaitu $1 \pm 5\%$.



Gambar 4.5 Kurva PV Berau Setelah Pemasangan SVC

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat lebih detail lagi penambahan beban secara bertahap dari bus Berau setelah pemasangan SVC. Setelah dipasang SVC tegangan pada bus Berau mengalami perbaikan tegangan dari 0,5604 pu menjadi 0,9507 pu sehingga memiliki tegangan yang diijinkan yaitu pada sesuai standar tegangan yaitu $1 \pm 5\%$.



Gambar 4.6 Karakteristik perbaikan Kurva PV Berau Setelah Pemasangan SVC

Berdasarkan gambar 4.6 dapat dilihat perbandingan kurva PV bus Berau sebelum dan setelah pemasangan SVC. Terlihat bahwa dengan pemasangan SVC pada bus Berau, bus tersebut dapat lebih baik dalam menjaga tegangan pada batas yang diijinkan dari pada tanpa menggunakan SVC dari penurunan tegangan akibat penambahan.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam menganalisis stabilitas tegangan pada bus tertentu dapat menggunakan kurva PV, sehingga dapat ditentukan bus yang memiliki sensitivitas tegangan paling tinggi.
2. Dalam menentukan lokasi untuk pemasangan SVC dapat dilakukan dengan menggunakan metode sensitivitas tegangan.
3. Penambahan SVC pada bus *backbone* Kalimantan 275 kv dapat memperbaiki tegangan pada bus tersebut. Dari tegangan dibawah standar yaitu 0,5604 pu diperbaiki menjadi nilai sesuai standar yaitu 0,9507 pu.

5.2 Saran

Adapun saran untuk memperbaiki dan mengembangkan penelitian terkait tugas akhir ini yaitu :

1. Metode optimasi menggunakan kecerdasan buatan dalam menentukan lokasi penempatan dan kapasitas SVC.
2. Menggunakan peralatan FACTS lain sehingga dapat dibandingkan mana yang lebih efektif antara satu FACTS dan FACTS lain.
3. Dalam penentuan kapasitas SVC memerhatikan rating SVC di pasaran

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Radhito Dewanata Putra, “Pemasangan SVC Untuk Perbaikan Stabilitas Tegangan Sistem Transmisi Jamali 500 Kv Setelah Penambahan Pembangkit 1575 Mw Pada Tahun 2017,” p. 93, 2017.
- [2] Fitri Nur Eka Fauzi Mur Prasetyo, “Penempatan Optimal FACTS Devices pada Sistem Transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV Tahun 2017 untuk Meningkatkan Power Transfer Capability,” p. 125, 2017.
- [3] J. J. Grainer and W. Stevenson, *Power System Analysis*. 1994.
- [4] G. Andersson, “Power System Analysis: Power Flow Analysis, Fault Analysis, Power System Dynamics and Stability,” no. September, p. 185, 2012.
- [5] L. Powell, *Power system load flow analysis*. 2005.
- [6] T. Gonen, *Electric Power Transmission System Engineering*. 2011.
- [7] M. Venkatasubramanian and K. Tomsovic, “Power System Analysis,” *The Electrical Engineering Handbook*. pp. 761–778, 2005.
- [8] P. S. Kundur, “Power System Stability and Control,” *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*. p. 1179, 1994.
- [9] T. Cutsem and C. Vournas, “Voltage Stability of Electric Power Systems,” 1998.
- [10] J. Hossain, H. R. Pota, I. Conventional, R. Power, and G. Resources, *Robust Control for Grid Voltage Stability : High Penetration of Renewable Energy*. .
- [11] “(Electric Power Research Institute Power System Engineering) Carson W. Taylor-Power System Voltage Stability-Mcgraw-Hill (Tx) (1993).pdf.” .
- [12] A. M. N. Putra and A. Y. Dewi, “STUDI ANALISA KESTABILAN TEGANGAN SISTEM 150 kV BERDASARKAN

PERUBAHAN TEGANGAN,” vol. 2, no. 1, pp. 18–25, 2013.

- [13] H. P. Prayitno, O. Penangsang, N. K. Aryani, J. T. Elektro, and F. T. Industri, “Studi Perbaikan Stabilitas Tegangan Sistem Jawa - Madura - Bali (Jamali) dengan Pemasangan SVC Setelah Masuknya Pembangkit 1000 MW Paiton,” vol. 5, no. 2, pp. 244–250, 2016.
- [14] T. A. Sembogo, “Studi Perbaikan Stabilitas Tegangan Kurva P-V pada Sistem Jawa-Bali 500kV dengan Pemasangan Kapasitor Bank Menggunakan Teori Sensitivitas,” no. 2, pp. 1–7.
- [15] M. Eremia, C. Liu, and A. Edris, “Advanced Solutions in Power Systems,” pp. 1–7, 2016.
- [16] E. Acha, C. R. Fuerte-Esquivel, H. Ambriz-Pérez, and C. Angeles-Camacho, *Facts*. 2004.
- [17] A. Hastanto, Yuningtyastuti, and S. Handoko, “Optimasi Penempatan Svc Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Pada Sistem 500 Kv Jamali Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO),” *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, 2012.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Data Beban Kalimantan tahun 2026

Lampiran 2: Data Pembangkitan Kalimantan tahun 2026

Lampiran 3: Impedansi Pembangkit Kalimantan

Lampiran 4: Data *line transmission* Kalimantan Barat

Lampiran 5: Data *line transmission* Kalimantan Timur dan Utara

Lampiran 6: Data *line transmission* Kalimantan Selatan dan Tengah

Lampiran 7: Data Impedansi Saluran Kalimantan

Lampiran 8: Tower 275 kV

Lampiran 9: SLD Kalimantan 150 kV

Lampiran 10: *Technical Parameters Of conductor*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1

Data Beban Kalimantan tahun 2026

| No. | NAMA GI | Teg. (kV) | Beban Puncak Tahun 2026 (MW) |
|-----|------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1 | GI BERAU | 150/20 | 52,00 |
| 2 | GI BULUNGAN/ TANJUNG SELO | 150/20 | 26,84 |
| 3 | GI SEKATAK | 150/20 | 4,30 |
| 4 | GI MALINAU | 150/20 | 20,13 |
| 5 | GI KRAYAN | 150/20 | 1,05 |
| 6 | GI KAYAN HULU | 150/20 | 1,05 |
| 7 | GI TANA TIDUNG | 150/20 | 3,88 |
| 8 | GI TALISAYAN | 150/20 | 2,92 |
| 9 | GI PLTU LATI | 150/20 | 7,05 |
| 10 | GI SEBUKU | 150/20 | 1,22 |
| 11 | GI Nunukan | 150/20 | 28,99 |
| 12 | GI CEMPAKA | 150/20 | 122,12 |
| 13 | GI CEMPAKA | 70/20 | 4,47 |
| 14 | GI RIAM KANAN/ARANIO | 70/20 | 4,25 |
| 15 | GI BANJARMASIN | 70/20 | 0,00 |
| 16 | GI TRISAKTI | 70/20 | 12,80 |
| 17 | GI TRISAKTI | 150/20 | 119,36 |
| 18 | GI MANTUIL | 150/20 | 59,85 |
| 19 | GI SEBERANG BARITO | 150/20 | 18,03 |
| 20 | GI SELAT | 150/20 | 41,61 |
| 21 | GI PALANGKARAYA | 150/20 | 55,07 |
| 22 | GI BARIKIN | 150/20 | 45,54 |
| 23 | GI TANJUNG | 150/20 | 48,65 |

Data Beban Kalimantan tahun 2026 (lanjutan 1)

| No. | NAMA GI | TEG. kV | Beban Puncak(MW) 2026 |
|-----|--------------------------|------------|-----------------------------|
| 24 | GI AMUNTAI | 150/20 | 37,64 |
| 25 | GI ASAM-ASAM | 150/20 | 21,39 |
| 26 | GI PELAIHARI | 150/20 | 40,78 |
| 27 | GI RANTAU/BINUANG | 150/20 | 51,28 |
| 28 | GI PULANG PISAU + MINTIN | 150/20 | 16,13 |
| 29 | GI BATULICIN | 150/20 | 55,57 |
| 30 | GI KAYU TANGI | 150/20 | 23,62 |
| 31 | GI SAMPIT | 150/20 | 57,79 |
| 32 | GI KASONGAN | 150/20 | 30,16 |
| 33 | GI PANGKALAN BUN | 150/20 | 55,72 |
| 34 | GI BUNTOK/AMPAH | 150/20 | 19,34 |
| 35 | GI MUARA TEWEH | 150/20 | 17,16 |
| 36 | GI PALANGKARAYA (New) | 150/20 | 48,72 |
| 37 | GI KUALA KURUN | 150/20 | 6,27 |
| 38 | GI BANDARA | 150/20 | 41,02 |
| 39 | GI PURUKCAHU | 150/20 | 8,53 |
| 40 | GI KOTABARU | 150/20 | 24,34 |
| 41 | GI SATUI | 150/20 | 25,36 |
| 42 | GI PARENGGEAN | 150/20 | 9,34 |
| 43 | GI PANGKALAN BANTENG | 150/20 | 9,70 |
| 44 | GI SUKAMARA | 150/20 | 5,40 |
| 45 | GI NANGABULIK | 150/20 | 7,62 |
| 46 | GI SEI TABUK | 150/20 | 24,79 |
| 47 | GI MARABAHAN | 150/20 | 11,71 |
| 48 | GI PARINGIN | 150/20 | 23,27 |

Data Beban Kalimantan tahun 2026 (lanjutan 2)

| No. | NAMA GI | TEG. kV | Beban Puncak(MW) 2026 |
|-----|---------------------|------------|-----------------------------|
| 49 | GIS ULIN | 150/20 | 99,87 |
| 50 | GI BATI-BATI | 150/20 | 31,12 |
| 51 | GI TAMIYANG LAYANG | 150/20 | 6,71 |
| 52 | GI KUALA PAMBUANG | 150/20 | 6,26 |
| 53 | GI KANDANGAN | 150/20 | 19,38 |
| 54 | GI SIANTAN | 150/20 | 85,57 |
| 55 | GI SEI RAYA | 150/20 | 163,09 |
| 56 | GI. PARIT BARU | 150/20 | 48,02 |
| 57 | GI. MEMPAWAH | 150/20 | 33,53 |
| 58 | GI. KOTA BARU | 150/20 | 63,28 |
| 59 | GI.SINGKAWANG | 150/20 | 75,06 |
| 60 | GI SAMBAS | 150/20 | 41,37 |
| 61 | GI CEMARA 2018 | 150/20 | 57,80 |
| 62 | GI SANGGAU 2017 | 150/20 | 44,18 |
| 63 | GI SINTANG 2018 | 150/20 | 36,25 |
| 64 | GI TAYAN 2016 | 150/20 | 24,81 |
| 65 | GI BENGKAYANG 2016 | 150/20 | 15,52 |
| 66 | GI SEKADAU 2017 | 150/20 | 17,34 |
| 67 | GI NGABANG 2016 | 150/20 | 14,00 |
| 68 | GI NANGA PINOH 2020 | 150/20 | 16,62 |
| 69 | GI KETAPANG 2020 | 150/20 | 27,73 |
| 70 | GI SANDAI 2020 | 150/20 | 7,15 |
| 71 | GI PUTUSSIBAU 2020 | 150/20 | 15,60 |
| 72 | GI SUKADANA 2020 | 150/20 | 17,88 |
| 73 | GI Kota Baru 2 2022 | 150/20 | 8,86 |

Data Beban Kalimantan tahun 2026 (lanjutan 3)

| No. | NAMA GI | TEG. kV | Beban Puncak(MW) 2026 |
|-----|-----------------------------|------------|-----------------------------|
| 74 | GI Semparuk 2019 | 150/20 | 16,21 |
| 75 | GI Entikong 2020 | 150/20 | 9,82 |
| 76 | GI Kendawangan 2020 | 150/20 | 7,04 |
| 77 | GI INDUSTRI / Gn Malang | 7,50 | 76,70 |
| 78 | GI MANGGARSARI / Batakan | 7,50 | 83,80 |
| 79 | GI GIRI REJO / Karang Joang | 7,50 | 58,10 |
| 80 | GI NEW BALIKPAPAN | 7,50 | 57,70 |
| 81 | GIS BALIKPAPAN | 7,50 | 35,60 |
| 82 | GI KARIANGAU | 7,50 | 18,80 |
| 83 | GI SAMBOJA | 7,50 | 10,50 |
| 84 | GI SENIPAH | 7,50 | 17,00 |
| 85 | GI HARAPAN BARU | 7,50 | 47,60 |
| 86 | PLTD KLEDANG | 20,00 | 10,50 |
| 87 | GI TENGGAWANG | 7,50 | 111,50 |
| 88 | GI EMBALUT | 7,50 | 38,30 |
| 89 | GI BUKUAN | 7,50 | 30,00 |
| 90 | GI NEW SAMARINDA | 7,50 | 48,30 |
| 91 | GIS SAMARINDA | 7,50 | 34,90 |
| 92 | GI TENGGARONG | 7,50 | 54,50 |
| 93 | GI SAMBUTAN | 7,50 | 45,70 |
| 94 | GI SAMBERA | 7,50 | 22,70 |
| 95 | GI BONTANG | 7,50 | 41,30 |
| 96 | PLTD Kanaan | 20,00 | 9,90 |
| 97 | GI BONTANG KUALA | 7,50 | 17,10 |
| 98 | GI SANGATA | 7,50 | 35,40 |

Data Beban Kalimantan tahun 2026 (lanjutan 4)

| No. | NAMA GI | TEG. kV | Beban Puncak(MW) 2026 |
|-----|----------------------------------|------------|-----------------------------|
| 99 | GI KUARO | 7,50 | 9,50 |
| 100 | GI PETUNG | 7,50 | 33,60 |
| 101 | GI LONGIKIS | 7,50 | 6,90 |
| 102 | GI BT SOPANG | 7,50 | 5,60 |
| 103 | GI PASER | 7,50 | 41,20 |
| 104 | GI KOTA BANGUN | 7,50 | 8,50 |
| 105 | GI MELAK | 7,50 | 22,70 |
| 106 | GI MALOY (SANGKUIRANG- KUTIM) | 7,50 | 5,20 |
| 107 | GI SEPASO | 7,50 | 4,01 |
| 108 | GI MUARA WAHAU | 7,50 | 5,70 |
| 109 | GI SEMOI-SEPAKU | 7,50 | 3,10 |
| 110 | GI KEMBANG JANGGUT | 7,50 | 2,40 |
| 111 | GI MUARA BENGKAL | 7,50 | 2,80 |
| 112 | GI SANGA-SANGA (PLTU MT- IPP) | 7,50 | 5,00 |
| 113 | GI MAHAKAM ULU | 7,50 | 4,30 |
| 114 | GI TANJUNG BATU (DERAWAN) | 7,50 | 1,20 |
| 115 | GI LONG PAHANGAI | 7,50 | 0,90 |
| 116 | GI LONG APARI | 7,50 | 0,80 |

Lampiran 2

Data Pembangkitan Kalimantan tahun

| No. | Provinsi | ID | Jenis | Unit | Kapasitas [MW] |
|-----|-------------------------------|-------------------|-------|----------|----------------|
| 1 | Kalimantan Barat | Parit Baru (FTP1) | PLTU | #1,2 | 2x50 |
| 2 | | MPP Kalbar (PLTG) | PLTG | #1,2,3,4 | 4x25 |
| 3 | | Kalbar Peaker | PLTG | #1,2,3,4 | 4x25 |
| 4 | | Parit Baru (FTP2) | PLTU | #1,2 | 2x55 |
| 5 | | Pantai Kura-Kura | PLTU | #1,2 | 2x27.5 |
| 6 | | Kalbar 1 | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 7 | Kalimantan Selatan dan Tengah | Asam-Asam | PLTU | #1,2 | 2x65 |
| 8 | | Asam-Asam | PLTU | #3,4 | 2x65 |
| 9 | | Pulang Pisau | PLTU | #1,2 | 2x65 |
| 10 | | MPP Kalsel | MPP | #1,2 | 2x30 |
| 11 | | Bangkanai 1 | PLTMG | #1-16 | 16x10 |
| 12 | | Riam Kanan | PLTA | #1 | 90 |
| 13 | | Sampit | PLTU | #1,2 | 2x25 |
| 14 | | Bangkanai 2 | PLTMG | #1-15 | 15x9 |
| 15 | | MPP Kalsel | MPP | #3-6 | 4x30 |
| 16 | | Kalsel (FTP2) | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 17 | | Kalselteng 1 | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 18 | | Kalselteng 2 | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 19 | | Kalselteng 3 | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 20 | Kalimantan Timur dan Utara | Teluk Balikpapan | PLTU | #1,2 | 2x110 |
| 21 | | Embalut Ekspansi | PLTU | #3 | 50 |
| 22 | | Embalut | PLTU | #1,2 | 2x25 |
| 23 | | Kaltim (MT) | PLTU | #1,2 | 2x27.5 |
| 24 | | MPP Kaltim | PLTMG | #1-4 | 4x10 |
| 25 | | Tanjung Batu | PLTGU | #1 | 60 |

Data Pembangkitan Kalimantan tahun 2026 (lanjutan 1)

| No. | Provinsi | ID | Jenis | Unit | Kapasitas [MW] |
|-----|----------------------------|-----------------|-------|------|----------------|
| 26 | Kalimantan Timur dan Utara | Senipah | PLTG | #1,2 | 2x40 |
| 27 | | Kaltim Peaking | PLTG | #1,2 | 2x80 |
| 28 | | Sambera | PLTG | #1,2 | 2x20 |
| 29 | | Cogindo | PLTD | #1-4 | 4x10 |
| 30 | | Kaltim Peaker 2 | PLTG | #1-5 | 5x50 |
| 31 | | Kaltim 4 | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 32 | | Kaltim (FTP2) | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 33 | | Kaltim 3 | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 34 | | PLTU Kaltim 6 | PLTU | #1,2 | 2x100 |
| 35 | | Senipah (Steam) | PLTGU | #1 | 36 |

Lampiran 3

Impedansi Pembangkit Kalimantan

| Jenis | Kapasitas [MW] | Apparent Power [MVA] | x_d | x_q | x_d' | x_q' |
|-------|-------------------|----------------------------|-------|-------|--------|--------|
| PLTU | 50 | 62,5 | 1,05 | 0,98 | 0,185 | 0,36 |
| PLTG | 25 | 31,25 | 1,27 | 1,24 | 0,209 | 0,85 |
| PLTU | 65 | 85,312 | 1,18 | 1,05 | 0,223 | 0,38 |
| MPP | 2x30 | 63,5 | 2,25 | 1,805 | 0,223 | 0,3 |
| PLTA | 100 | 125 | 1,22 | 1,16 | 0,174 | 0,25 |
| PLTU | 25 | 31,25 | 1,4 | 1,372 | 0,231 | 0,715 |
| PLTMG | 10 | 12,163 | 1,07 | 0,66 | 0,408 | |
| PLTMG | 40 | 65,882 | 1,05 | 0,98 | 0,185 | 0,36 |
| PLTU | 25 | 31,25 | 1,4 | 1,372 | 0,231 | 0,715 |
| PLTU | 200 | 250 | 1,22 | 1,16 | 0,174 | 0,25 |
| PLTG | 60 | 80 | 1,05 | 0,98 | 0,185 | 0,36 |
| PLTG | 20 | 30 | 1,25 | 1,22 | 0,232 | 0,715 |
| PLTU | 25 (6.3 kV) | 60 | 1,25 | 1,22 | 0,232 | 0,715 |

Impedansi Pembangkit Kalimantan (lanjutan 1)

| Jenis | Kapasitas [MW] | x_d'' | x_q'' | x_0 | r_0 | x_2 |
|-------|-------------------|---------|---------|--------|--------|-------|
| PLTU | 50 | 0,13 | 0,185 | 0,077 | 0,0031 | 0,085 |
| PLTG | 25 | 0,105 | 0,116 | 0,116 | 0,0031 | 0,105 |
| PLTU | 65 | 0,145 | 0,145 | 0,084 | 0 | 0,095 |
| MPP | 2x30 | 0,144 | 0,2 | 0,084 | 0 | 0,158 |
| PLTA | 100 | 0,134 | 0,145 | 0,093 | 0,004 | 0,134 |
| PLTU | 25 | 0,118 | 0,12 | 0,077 | 0,0031 | 0,118 |
| PLTMG | 10 | 0,33 | 0,264 | 0,2 | 0 | 0,49 |
| PLTMG | 40 | 0,13 | 0,13 | 0,07 | 0 | 0,085 |
| PLTU | 25 | 0,118 | 0,12 | 0,077 | 0,0031 | 0,118 |
| PLTU | 200 | 0,134 | 0,134 | 0,1 | 0,004 | 0,134 |
| PLTG | 60 | 0,13 | 0,185 | 0,07 | 0 | 0,085 |
| PLTG | 20 | 0,12 | 0,12 | 0,0215 | 0 | 0,12 |
| PLTU | 25 (6.3 kV) | 0,12 | 0,12 | 0,0215 | 0 | 0,12 |

Impedansi Pembangkit Kalimantan (lanjutan 2)

| Jenis | Kapasitas [MW] | r2 | Td' | Tq' | Td'' | Tq'' |
|-------|-------------------|--------|-------|------|-------|-------|
| PLTU | 50 | 0,016 | 1,28 | 0,64 | 0,023 | 0,023 |
| PLTG | 25 | 0,016 | 0,882 | 0,64 | 0,023 | 0,023 |
| PLTU | 65 | 0,02 | 1,28 | 0,64 | 0,023 | 0,023 |
| MPP | 2x30 | 0 | 0,989 | 1 | 0,032 | 0,05 |
| PLTA | 100 | 0,017 | 0,023 | 0,64 | 0,023 | 0,023 |
| PLTU | 25 | 0,0082 | 0,882 | 0,64 | 0,035 | 0,035 |
| PLTMG | 10 | 0,03 | 1,67 | | 0,035 | 0,035 |
| PLTMG | 40 | 0,016 | 1,28 | 0,64 | 0,023 | 0,023 |
| PLTU | 25 | 0,0082 | 0,882 | 0,64 | 0,035 | 0,035 |
| PLTU | 200 | 0,017 | 1,28 | 0,64 | 0,023 | 0,023 |
| PLTG | 60 | 0,016 | 1,28 | 0,64 | 0,023 | 0,023 |
| PLTG | 20 | 0,0082 | 0,882 | 0,64 | 0,035 | 0,035 |
| PLTU | 25 (6.3 kV) | 0,0082 | 0,882 | 0,64 | 0,035 | 0,035 |

Lampiran 4

Data line transmission Kalimantan Barat

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|-------------|------------|--------------------|--------|--------|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 1 | Sambas | Singkawang | ACSR 1x240mm | double | 275,2 |
| 2 | Singkawang | Bengkayang | ACSR 1x240mm | double | 294,26 |
| 3 | Bengkayang | Ngabang | ACSR 2x240mm | double | 180 |
| 4 | Ngabang | Tayan | ACSR 2x240mm | double | 110 |
| 5 | Tayan | Siantan | ACSR 1x240mm | double | 184 |
| 6 | Siantan | Sei Raya | ACSR 1x240mm | double | 72,12 |
| 7 | Siantan | Kota Baru | ACSR 1x240mm | single | 39,69 |
| 8 | Siantan | Parit Baru | ACSR 1x240mm | single | 20,04 |
| 9 | Kota Baru | Parit Baru | ACSR 1x240mm | single | 20,04 |
| 10 | Parit Baru | Senggiring | ACSR 1x240mm | double | 168,7 |
| 11 | Senggiring | Singkawang | ACSR 1x240mm | double | 353,2 |
| 12 | Kota Baru | Cemara | UGC, XLPE 800mm | | 20 |
| 13 | Cemara | Sei Raya | UGC, XLPE 800mm | | 20 |
| 14 | Ketapang | Sukadana | Double Hawk | | 200 |
| 15 | Kendawangan | Ketapang | Double Hawk | | 190 |
| 16 | Tayan | Sanggau | Double Hawk | | 180 |
| 17 | Sanggau | Sekadau | Double Hawk | | 100 |

Data *line transmission* Kalimantan Barat (lanjutan 1)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|--------------------|----------------------|-------------------|------|-----|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 18 | Pantai Kura-kura | Singkawang-Mempawah | Single Hawk | | 40 |
| 19 | Singkawang | Bengkayang | HTLS, Single Hawk | | 120 |
| 20 | Singkawang | Pantai Kura Kura | HTLS, Single Hawk | | 60 |
| 21 | Pantai Kura-kura | Mempawah | HTLS, Single Hawk | | 60 |
| 22 | Mempawah | Parit Baru | HTLS, Single Hawk | | 60 |
| 23 | Sintang | Sekadau | Double Hawk | | 180 |
| 24 | Sukadana | Sandai | Double Hawk | | 180 |
| 25 | Sandai | Tayan | Double Hawk | | 300 |
| 26 | Kotabaru | Rasau | Double Hawk | | 60 |
| 27 | PLTU Kalbar-2 | Kotabaru | Double Zebra | | 60 |
| 28 | Entikong | Sanggau | Double hawk | | 260 |
| 29 | Nanga Pinoh | Kota Baru 2 | Double Hawk | | 180 |
| 30 | PLTU Kalbar-3 | Tayan | Double Zebra | | 60 |
| 31 | Sintang | Putussibau | Double Hawk | | 300 |
| 32 | Sukamara (Kalteng) | Kendawangan (Kalbar) | Double Hawk | | 190 |

Lampiran 5

Data line transmission Kalimantan Timur dan Utara

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|----------------|------------------|--------------|--------|-------|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 1 | Bontang | Sangatta | Double Hawk | double | 95,36 |
| 2 | Bontang | Samberah | Double Hawk | double | 110 |
| 3 | Samberah | New Samarinda | Double Zebra | double | 40 |
| 4 | Samberah | SBT | Double Hawk | double | 100 |
| 5 | SBT | Bukuan | Double Hawk | double | 14,4 |
| 6 | Bukuan | Haru | Single Hawk | double | 24 |
| 7 | Haru | Tengkawang | Double Hawk | double | 16,6 |
| 8 | Tengkawang | Embalut | Double Hawk | double | 31,6 |
| 9 | Embalut | BB | Single Hawk | double | 41 |
| 10 | Embalut | CFK | Single Hawk | double | 3 |
| 11 | Haru | Karjo | Double Hawk | double | 150,8 |
| 12 | Karjo | Manggan | Double Hawk | double | 42,4 |
| 13 | Manggan | Senipah | Double Hawk | double | 186 |
| 14 | Manggan | New Balikpapan | Single Hawk | double | 26,8 |
| 15 | New Balikpapan | Industri | Single Hawk | double | 10 |
| 16 | Karjo | Teluk Balikpapan | Double Zebra | double | 22 |

Data line transmission Kalimantan Timur dan Utara (lanjutan 1)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|------------------|--------------------------------------|--------------|--------|------|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 17 | Teluk Balikpapan | Petung | Double Hawk | double | 90,4 |
| 18 | Petung | Kuaro | Single Hawk | double | 164 |
| 19 | PLTG Senipah | Palaran | Double Hawk | | 110 |
| 20 | Tenggarong | Kota Bangun | Double Hawk | | 120 |
| 21 | New Balikpapan | Incomer 2 phi (Manggarsari-Industri) | Single Hawk | | 2 |
| 22 | New Balikpapan | Kariangau | Double Zebra | | 40 |
| 23 | New Samarinda | Embalut | Double Zebra | | 32 |
| 24 | Kuaro | Tanah Grogot | Double Hawk | | 32 |
| 25 | Lati | Tanjung Redep | Double Hawk | | 60 |
| 26 | Tanjung Redep | Tanjung Selor | Double Hawk | | 160 |
| 27 | Tanjung Selor | Tidang Pale | Double Hawk | | 204 |
| 28 | Tidang Pale | Malinau | Double Hawk | | 52 |
| 29 | PLTMG Bangkanai | Melak | Double Hawk | | 200 |
| 30 | Melak | Kotabangun | Double Hawk | | 268 |
| 31 | Sangatta | Maloi | Double Hawk | | 160 |

Data *line transmission* Kalimantan Timur dan Utara (lanjutan 2)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|-----------------------|------------------------|--------------|------|-----|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 32 | Muara Wahau | Sangatta | Double Hawk | | 100 |
| 33 | Muara Wahau | Tanjung Redep | Double Hawk | | 240 |
| 34 | PLTU Kaltim 2 (FTP-2) | Bontang | Double Hawk | | 30 |
| 35 | Tenggarong/Bukit Biru | Sepaku | Double Hawk | | 70 |
| 36 | Kariangau | Sepaku | Double Hawk | | 50 |
| 37 | Tanjung Redep | Talisayan | Double Hawk | | 70 |
| 38 | Lati | Tanjung Batu (derawan) | Double Hawk | | 40 |
| 39 | Sekatak | Juata | Double Hawk | | 120 |
| 40 | Juata | Tarakan | Double Hawk | | 28 |
| 41 | Malinau | Sebuku | Double Hawk | | 150 |
| 42 | Sebuku | Nunukan | Double Hawk | | 156 |
| 43 | PLTU Kaltim 3 | Melak | Double Hawk | | 60 |
| 44 | Kembang Janggut | Kotabangun | Double Hawk | | 40 |
| 45 | PLTU Kaltim 6 | Kuaro | Double Hawk | | 60 |
| 46 | New Balikpapan | GIS Balikpapan | XLPE. 800 mm | | 20 |
| 47 | GIS Samarinda | New Samarinda | XLPE. 800 mm | | 30 |

Data *line transmission* Kalimantan Timur dan Utara (lanjutan 3)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|-----------------|-----------------|--------------|------|-----|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 48 | Tanah Grogot | Sei Durian | Double Hawk | | 140 |
| 49 | PLTA Tabang | Kembang Janggut | Double Zebra | | 140 |
| 50 | Melak | Ujoh Bilang | Double Hawk | | 150 |
| 51 | Kembang Janggut | Muara Bengkal | Double Hawk | | 200 |
| 52 | Muara Bengkal | Muara Wahau | Double Hawk | | 240 |
| 53 | PLTA Kaltara 1 | Malinau | Double Zebra | | 80 |

Lampiran 6

Data line transmission Kalimantan Selatan dann Tengah

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|----------------------|----------------------|------------------|--------|--------|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 1 | Sampit | Kasongan | ACSR 2x240mm | double | 200 |
| 2 | Kasongan | Palangkaraya | ACSR 2x240mm | double | 150 |
| 3 | Palangkaraya | Pembangkit Pulpis | ACSR 1x240mm | single | 94 |
| 4 | Palangkaraya | Pulpis | ACSR 1x240mm | single | 85 |
| 5 | Pulpis | Selat | ACSR 1x240mm | single | 38,5 |
| 6 | Pembangkit Pulpis | Selat | ACSR 1x240mm | single | 31,5 |
| 7 | Selat | Sebar | ACCC, 1x315mm | double | 83,548 |
| 8 | Sebar | Trisakti 150 | ACSR 1x240mm | double | 30 |
| 9 | Trisakti 150 | Mantuil | ACSR 2x240mm | double | 30,308 |
| 10 | Mantuil | Bandara | ACSR 2x240mm | double | 32 |
| 11 | Bandara | Cempaka | ACSR 2x240mm | double | 24 |
| 12 | Mantuil | Asam | ACSR 2x240mm | double | 220 |
| 13 | Asam | Satui | ACSR 1x240mm | double | 154,7 |
| 14 | Satui | Batu Licin | ACSR 1x240mm | double | 100 |
| 15 | Asam | Pelai Hari | ACSR 1x330mm | single | 59,1 |
| 16 | Pelai Hari | Cempaka | ACSR 1x330mm | single | 32,7 |

Data *line transmission* Kalimantan Selatan dann Tengah (lanjutan 1)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|-----------|---|-----------------|--------|--------|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 17 | Asam | Cempaka | ACSR 1x330mm | single | 88,6 |
| 18 | Cempaka | Rantau | ACSR 1x240mm | single | 60,57 |
| 19 | Rantau | Barikin | ACSR 1x240mm | single | 45,68 |
| 20 | Cempaka | Barikin | ACSR 1x240mm | single | 106,25 |
| 21 | Sebar | Kayutangi | ACSR 1x240mm | double | 34 |
| 22 | Kayutangi | Barikin | ACSR 2x240mm | double | 240 |
| 23 | Barikin | Amuntai | ACSR 1x240mm | double | 80 |
| 24 | Barikin | Tanjung | ACSR 2x240mm | double | 120 |
| 25 | Tanjung | Buntok | ACSR 2x240mm | double | 260 |
| 26 | Buntok | Muara Teweh | ACSR 2x240mm | double | 220 |
| 27 | Teweh | BKNI | ACSR 1x330mm | double | 100 |
| 28 | Bandara | Incomer 2 phi (Cempaka- Mantuil) | Double Hawk | | 2 |

Data *line transmission* Kalimantan Selatan dann Tengah (lanjutan 2)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|--------------------------|-----------------------------------|--------------|------|-----|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 29 | Satui | Asam Asam - Batu Licin | Single Hawk | | 2 |
| 30 | PLTU Sampit | Sampit | Single Hawk | | 48 |
| 31 | Batu Licin | Landing Point Batu Licin | Single Hawk | | 6 |
| 32 | Landing Point P. Laut | Kota Baru | Single Hawk | | 74 |
| 33 | Landing Point Batu Licin | Landing Point P. Laut | Kabel Laut | | 6 |
| 34 | Kayutangi | Sei Tabuk | Double Hawk | | 30 |
| 35 | Sei Tabuk | Mantuil | Double Hawk | | 30 |
| 36 | Trisakti 150 | Ulin (GIS) | HTLS, 1xHawk | | 24 |
| 37 | Cempaka | Ulin (GIS) | Double Hawk | | 64 |
| 38 | Sampit | Pangkalan Bun | Double Hawk | | 344 |
| 39 | Muara Teweh | Puruk Cahu | Double Hawk | | 94 |
| 40 | Paringin | Incomer 1 phi (Barikin - Tanjung) | ACSR, 2xHawk | | 2 |

Data *line transmission* Kalimantan Selatan dann Tengah (lanjutan 3)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|---------------------|--|-------------------------|------|-----|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 40 | Paringin | Incomer 1 phi (Barikin - Tanjung) | ACSR, 2xHawk | | 2 |
| 41 | New Palangkaraya | Incomer 1 phi (Selat - Palangkaraya) | Single Hawk | | 2 |
| 42 | Parenggean | Incomer 1 phi (Kasongan - Sampit) | Single Hawk | | 30 |
| 43 | Puruk Cahu | Kuala Kurun | Double Hawk | | 196 |
| 44 | Kasongan | Kuala Kurun | Double Hawk | | 240 |
| 45 | Palangkaraya | Selat | HTLS, 1xHawk | | 248 |
| 46 | Selat | Seberang Barito | HTLS, 1xHawk | | 84 |
| 47 | PLTU Sampit | Kuala Pambuang | Double Hawk | | 160 |
| 48 | Seberang Barito | Trisakti | HTLS, Single Hawk | | 12 |

Data *line transmission* Kalimantan Selatan dann Tengah (lanjutan 4)

| No | Transmisi | | Lingkup | | Kms |
|----|----------------------|--|--------------|------|-----|
| | Dari | Ke | Penampang | Line | |
| 49 | PLTU Kalsel 1(FTP 2) | Tanjung | Double Hawk | | 100 |
| 50 | PLTGU Kalsel Peaker | Seberang Barito | Double Zebra | | 6 |
| 51 | Bati-Bati | Incomer 1 phi (Asam Asam-Cempaka) | Double Hawk | | 12 |
| 52 | PLTU Kalselteng 1 | Incomer 2 phi (Kasongan-Kuala Kurun) | Double Hawk | | 120 |
| 53 | Pangkalan Bun | Sukamara | Double Hawk | | 140 |
| 54 | Pangkalan Banteng | Incomer 1 phi (Pangkalan Bun-Sampit) | Single Hawk | | 48 |
| 55 | Nanga Bulik | Incomer 1 Phi (Pangkalan Bun-Sukamara) | Double Hawk | | 70 |
| 56 | Kandangan | Incomer 1 phi (Rantau-Barikin) | Double Hawk | | 2 |
| 57 | Amuntai | Tamiang Layang | Double Hawk | | 30 |
| 58 | Sukamara | Kendawangan | Double Hawk | | 140 |
| 59 | PLTA Kusan | Incomer 1 phi (Cempaka-Rantau) | Single Hawk | | 138 |

Lampiran 7

Data Impedansi Saluran Kalimantan

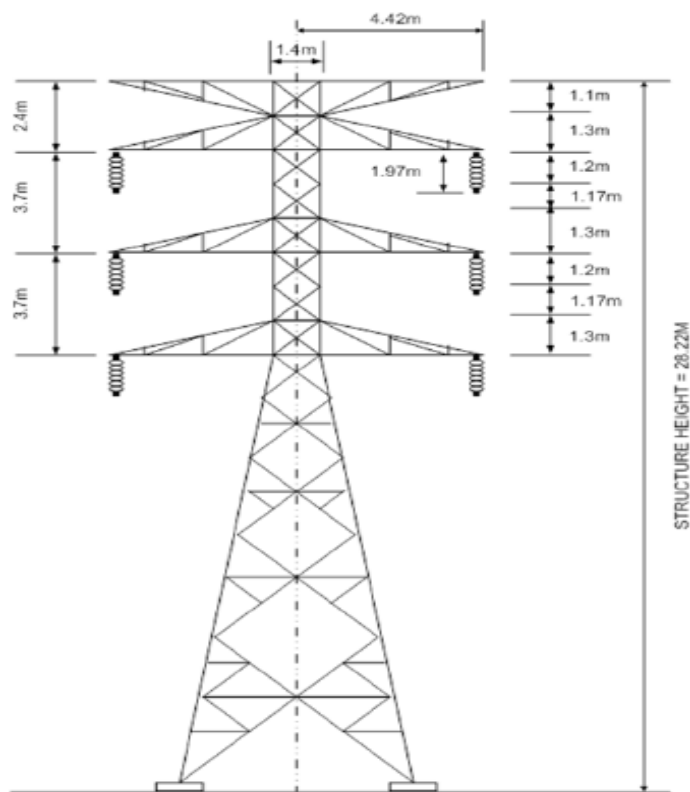
| No. | Penampang | R' positif (Ohm/km) | R' negatif (Ohm/km) | R' ₀ (Ohm/km) | X' (Ohm/km) |
|-----|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------|
| 1 | ACSR 1x240mm | 0,1183 | 0,1183 | 0,321 | 0,40694 |
| 2 | ACSR 2x240mm | 0,06 | 0,06 | 0,261095 | 0,29614 |
| 3 | Single Hawk | 0,129 | 0,129 | 0,554 | 0,4049 |
| 4 | Double Hawk | 0,0647 | 0,0647 | 0,554 | 0,28 |
| 5 | Double Zebra | 0,0199 | 0,0199 | 0,554 | 0,2874 |
| 6 | ACCC, 1x315mm | 0,0887 | 0,0887 | 0,321 | 0,407 |
| 7 | ACSR 1x330mm | 0,095 | 0,095 | 0,289 | 0,388001 |
| 8 | Kabel Laut | | | | |
| 9 | HTLS, 1xHawk | | | | |
| 10 | UGC, XLPE 800mm | | | | |

Data Impedansi Saluran Kalimantan (lanjutan 1)

| No. | Penampang | X'0 (Ohm/km) | B' (uS/km) | B'0 (uS/km) |
|-----|-----------------------|-----------------|---------------|----------------|
| 1 | ACSR 1x240mm | 1,307 | 2,82366 | 1,43413 |
| 2 | ACSR 2x240mm | 1,231237 | 3,865704 | 1,661734 |
| 3 | Single Hawk | 1,64 | 2,833 | 1,4609 |
| 4 | Double Hawk | 1,64 | 4,057 | 1,4609 |
| 5 | Double Zebra | 1,64 | 4,2 | 1,4609 |
| 6 | ACCC, 1x315mm | 1,307 | 3,153699 | 1,43413 |
| 7 | ACSR 1x330mm | 1,307 | 2,895697 | 1,452463 |
| 8 | Kabel Laut | | | |
| 9 | HTLS, 1xHawk | | | |
| 10 | UGC, XLPE 800mm | | | |

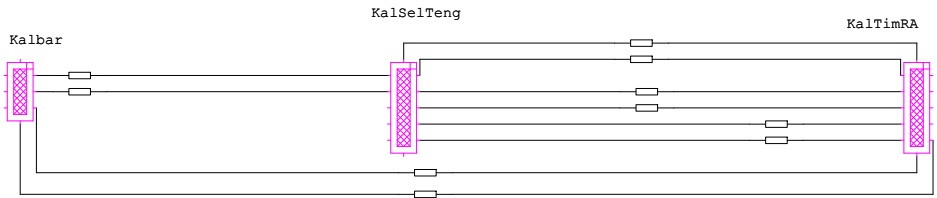
Lampiran 8

Tower 275 kV

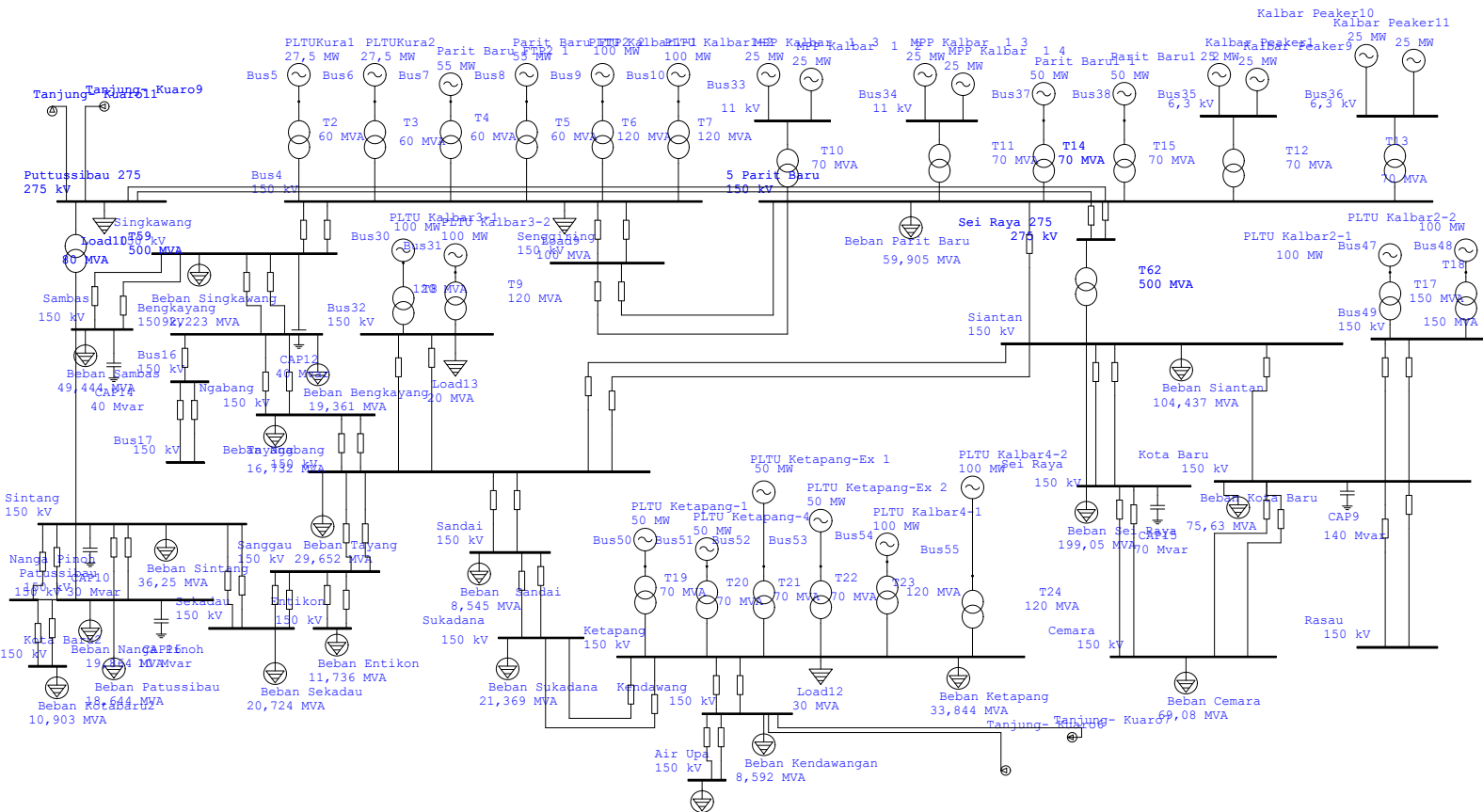


| TEGANGAN | TINGGI | JARAK FASA | CG | CONDUCTORS |
|----------|--------|-----------------------|-------------------|------------------|
| 150 | 28,22 | AB=BC = 3,7 CA=7,4 | GG= 3,7 CG=2,4 | SP=40 CO/PH=2 |

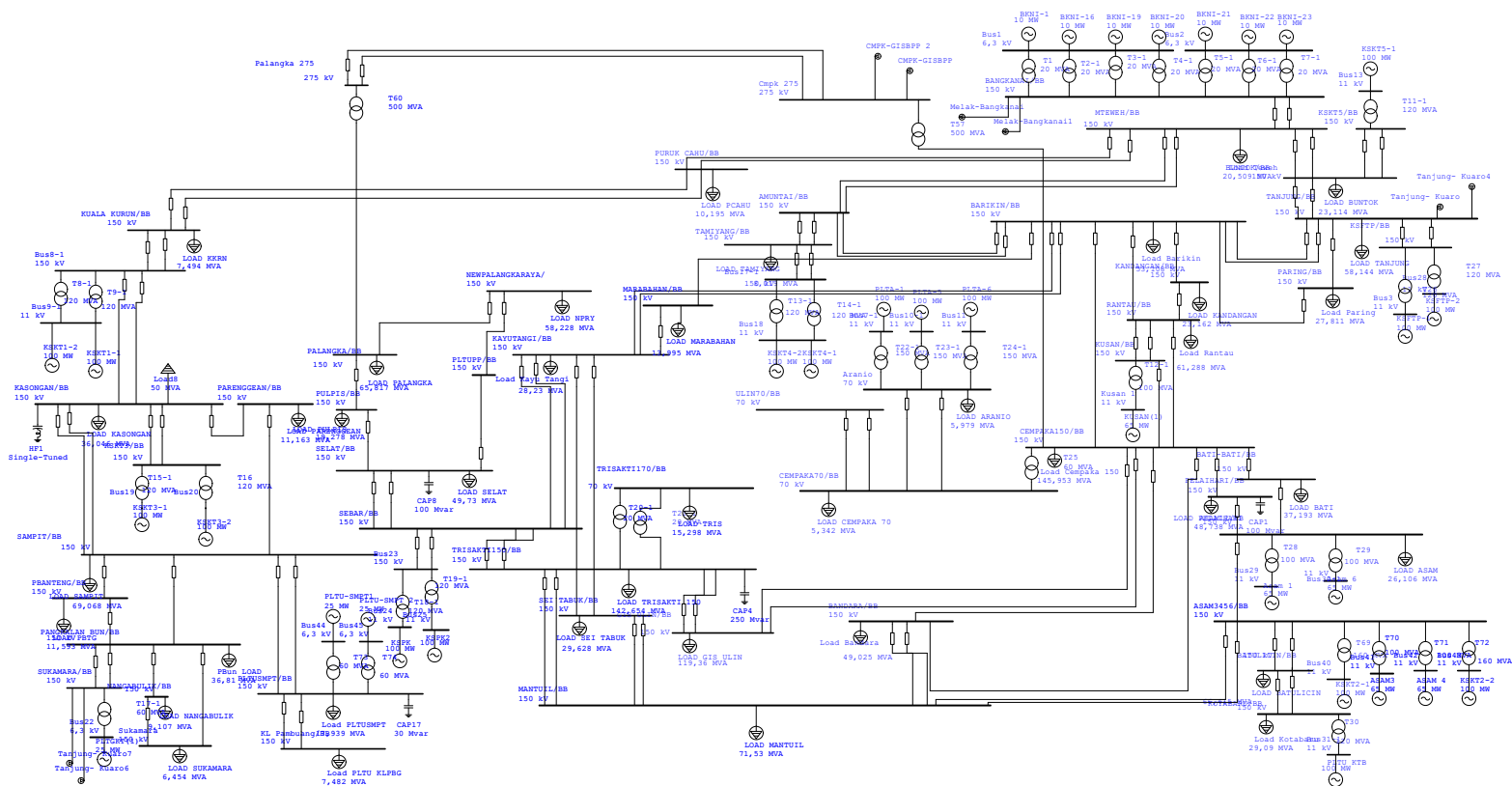
One-Line Diagram - OLV1 (Edit Mode)



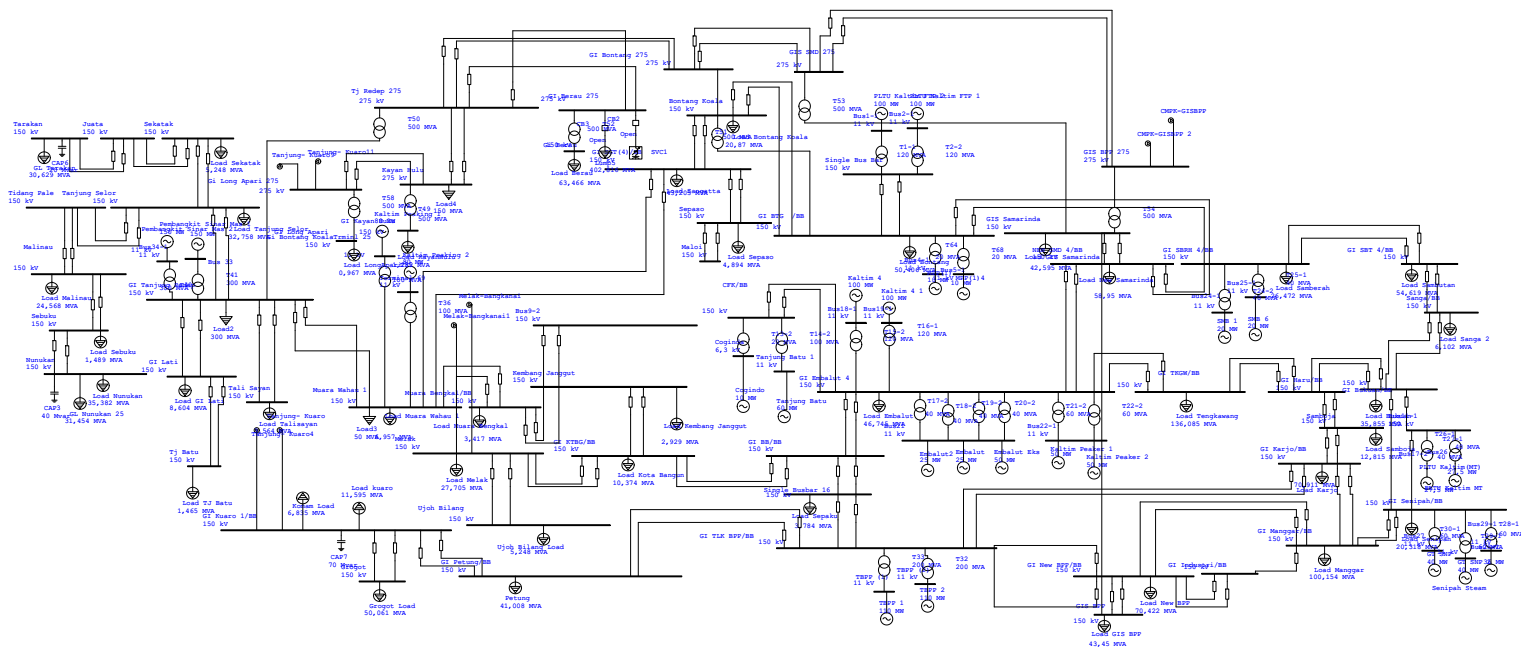
One-Line Diagram - OLV1=>Kalbar (Edit Mode)



page 1 20:09:03 Jun 01, 2018 Project File: Kalimantan275kV



page 1 23:18:16 Jun 01, 2018 Project File: Kalimantan275kV



TECHNICAL PARAMETERS OF CONDUCTOR

| OVERHEAD LINES | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------|------------------------------|---|----------|--|---------------|---------------------------|
| VOLTAGE (kV) | CONDUCTORS PER PHASE | CODE NAME | Z ₁ (Ohm/km) | | B ₁ (uS/km) | AMPS. | THERMAL CAPACITY (MVA) | L (Henry) per km 10 ⁻⁴ | C(pF)/km | Surge Impedance Z ₀ (Ohm) | S I L (MW) | Charging MVA per km |
| | | | R | jX | | | | | | | | |
| 150 (pu/km) | 1 x 160 mm ² | - | 0.20600 <u>0.00092</u> | 0.4200 <u>0.00187</u> | 2.73000 <u>0.00061</u> | 389 | 101 | 6.688 | 4347 | 392 | 57 | 0.0614 |
| 150 (pu/km) | 1 x 200 mm ² | - | 0.15600 <u>0.00069</u> | 0.4110 <u>0.00183</u> | 2.79200 <u>0.00063</u> | 477 | 124 | 6.544 | 4346 | 388 | 58 | 0.0628 |
| 150 (pu/km) | 1 x 241.7 mm ² | HEN | 0.13100 <u>0.00058</u> | 0.4017 <u>0.00179</u> | 2.84600 <u>0.00064</u> | 535 | 139 | 6.396 | 4532 | 376 | 60 | 0.0640 |
| 150 (pu/km) | 1 x 241.7 mm ² | HAWK | 0.12900 <u>0.00057</u> | 0.4049 <u>0.00180</u> | 2.83300 <u>0.00064</u> | 535 | 139 | 6.447 | 4511 | 378 | 60 | 0.0637 |
| 150 (pu/km) | 2 x 241.7 mm ² | HAWK | 0.06470 <u>0.00029</u> | 0.2800 <u>0.00124</u> | 4.05700 <u>0.00091</u> | 1058 | 275 | 4.458 | 6460 | 263 | 85 | 0.0913 |
| 150 (pu/km) | 1 x 282 mm ² | DOVE | 0.11120 <u>0.00049</u> | 0.3997 <u>0.00178</u> | 2.87000 <u>0.00065</u> | 593 | 154 | 6.365 | 4570 | 373 | 60 | 0.0645 |
| 150 (pu/km) | 2 x 282 mm ² | DOVE | 0.05560 <u>0.00025</u> | 0.2775 <u>0.00123</u> | 4.09300 <u>0.00092</u> | 1185 | 308 | 4.419 | 6518 | 260 | 87 | 0.0921 |
| 150 (pu/km) | 1 x 306.6 mm ² | DUCK | 0.10310 <u>0.00046</u> | 0.3990 <u>0.00177</u> | 2.88300 <u>0.00065</u> | 620 | 161 | 6.354 | 4589 | 372 | 60 | 0.0648 |
| 150 (pu/km) | 1 x 330 mm ² | - | 0.09750 <u>0.00043</u> | 0.3960 <u>0.00176</u> | 2.90000 <u>0.00065</u> | 650 | 169 | 6.306 | 4618 | 369 | 61 | 0.0652 |
| 150 (pu/km) | 2 x 330 mm ² | - | 0.04880 <u>0.00022</u> | 0.2775 <u>0.00123</u> | 4.12300 <u>0.00093</u> | 1301 | 338 | 4.387 | 6568 | 258 | 87 | 0.0928 |
| 150 (pu/km) | 1 x 402 mm ² | DRAKE | 0.07810 <u>0.00035</u> | 0.3888 <u>0.00173</u> | 2.95600 <u>0.00067</u> | 724 | 188 | 6.191 | 4707 | 363 | 62 | 0.0665 |
| 150 (pu/km) | 2 x 402 mm ² | DRAKE | 0.03900 <u>0.00017</u> | 0.2720 <u>0.00121</u> | 4.18100 <u>0.00094</u> | 1447 | 376 | 4.331 | 6658 | 255 | 88 | 0.0940 |
| 150 (pu/km) | 1 x 428.9 mm ² | ZEBRA | 0.07940 <u>0.00035</u> | 0.3890 <u>0.00173</u> | 2.95000 <u>0.00066</u> | 754 | 196 | 6.194 | 4697 | 363 | 62 | 0.0664 |
| 150 (pu/km) | 2 x 428.9 mm ² | ZEBRA | 0.03970 <u>0.00018</u> | 0.2720 <u>0.00121</u> | 4.17300 <u>0.00094</u> | 1509 | 392 | 4.331 | 6645 | 255 | 88 | 0.0939 |
| 150 (pu/km) | 4 x 428.9 mm ² | ZEBRA | 0.01985 <u>0.00009</u> | 0.2674 <u>0.00119</u> | 4.20000 <u>0.00095</u> | 3018 | 784 | 4.258 | 6688 | 252 | 89 | 0.0945 |
| 275 (pu/km) | 2 x 428.9 mm ² | ZEBRA | 0.03830 <u>0.00005</u> | 0.3100 <u>0.00041</u> | 3.55623 <u>0.00272</u> | 1300 | 720 | - | - | - | - | - |
| 500 (pu/km) | 4 x 282 mm ² | DOVE | 0.02770 <u>0.00001</u> | 0.2750 <u>0.00011</u> | 4.04500 <u>0.01011</u> | 2292 | 1985 | 4.379 | 6441 | 261 | 958 | 1.0115 |
| 500 (pu/km) | 4 x 337.8 mm ² | GANNET | 0.02400 <u>0.00001</u> | 0.2740 <u>0.00011</u> | 4.04300 <u>0.01011</u> | 2551 | 2209 | 4.363 | 6438 | 260 | 961 | 1.0109 |
| 500 (pu/km) | 4 x 570/40 mm ² | - | 0.01392 <u>0.00001</u> | 0.2903 <u>0.00012</u> | 3.96029 <u>0.00990</u> | 4200 | 3637 | - | - | - | - | - |
| 500 (pu/km) | 1 x 630/80 mm ² | - | 0.01500 <u>0.00001</u> | 0.2900 <u>0.00012</u> | 3.74666 <u>0.00937</u> | 4200 | 3637 | - | - | - | - | - |

* Based on conductor temp of 75° C, ambient temp of 35° C, wind vel: 1.6 km/hr, solar radiation: 0.12 W/cm².

** Assume :

- Lossless line
- No net reactive flow into/out the line
- Flat voltage profile along the line

TACSR = 1.6 km

| UNDERGROUND CABLES | | | | | |
|--------------------|---|-------------------------|--------|---------------------------|--|
| VOLTAGE (kV) | CROSS SECTION | Z ₁ (Ohm/km) | | B ₁ (uS/km) | THERMAL CAPACITY |
| | | R | jX | | |
| 150 | 3 single core Al 630 mm ² | 0.0589 | 0.1147 | 141.4 | 172 MVA/circuit ¹ 150 MVA/circuit ² |
| 150 | 3 single core Al 500 mm ² | 0.0775 | 0.0949 | 143.1 | 150 MVA/circuit ¹ 131 MVA/circuit ² |

¹): One circuit in operation

²): Two circuits in operation

Ratings and parameters for 630 mm² cable are manufactures data.

Ratings and parameters for 500 mm² cable are based on BICC information.

Notes :

| | |
|------------------------|------|
| MVA base | 100 |
| R base (150 kV) | 225 |
| X base (150 kV) | 225 |
| B1 base (150 kV) | 225 |
| R base (500 kV) | 2500 |
| X base (500 kV) | 2500 |
| B1 base (500 kV) | 2500 |
| R (pu) = R / R base | |
| X (pu) = X / X base | |
| B1 (pu) = B1 x B1 base | |

L 2 NILAI RESISTANSI, REAKTANSI DAN SUSEPTANSI (TIPIKAL) BEBERAPA JENIS PENGHANTAR (ref. Stevenson,Jr., p.40)

| No | Konduktor | Diameter luar ACSR (mm) | X _L (ohm/km) per phasa per circuit | | B _C (micromho/km) per phasa per circuit | | R _{dc20°C} (ohm/km) | R _{ac20°C} (ohm/km) | R _{ac75°C} (ohm/km) |
|----|------------|-------------------------------|--|--------|---|--------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | | 1 cct | 2 cct | 1 cct | 2 cct | per phasa | per phasa | per phasa |
| 1 | Hawk | 21.78 | | | | | | | |
| | -single | | 0.4063 | 0.3939 | 2.7941 | 2.8853 | 0.1196 | 0.1225 | 0.1497 |
| | -twin | | 0.2892 | 0.2762 | 3.8866 | 4.0745 | 0.0598 | 0.0613 | 0.0749 |
| 2 | Dove | 23.2 | | | | | | | |
| | -single | | 0.4024 | 0.3899 | 2.8226 | 2.9157 | 0.1024 | 0.1051 | 0.1284 |
| | -twin | | 0.2872 | 0.2742 | 3.9141 | 4.1047 | 0.0512 | 0.0525 | 0.0642 |
| 3 | Duck | 25.25 | | | | | | | |
| | -single | | 0.3957 | 0.3833 | 2.8617 | 2.9575 | 0.0944 | 0.0971 | 0.1187 |
| | -twin | | 0.2839 | 0.2709 | 3.9516 | 4.1459 | 0.0472 | 0.0486 | 0.0593 |
| 4 | Drake | 28.13 | | | | | | | |
| | -single | | 0.3903 | 0.3778 | 2.9132 | 3.0125 | 0.0717 | 0.0740 | 0.0904 |
| | -twin | | 0.2812 | 0.2681 | 4.0004 | 4.1997 | 0.0358 | 0.0370 | 0.0452 |
| 5 | Zebra | 28.62 | | | | | | | |
| | -single | | 0.3891 | 0.3767 | 2.9217 | 3.0215 | 0.0674 | 0.0703 | 0.0859 |
| | -twin | | 0.2806 | 0.2676 | 4.0084 | 4.2084 | 0.0337 | 0.0352 | 0.0430 |
| | -quadruple | | 0.2221 | 0.2067 | 5.0185 | 5.3980 | 0.0169 | 0.0176 | 0.0215 |
| 6 | Ostrich | 17.27 | | | | | | | |
| | -single | | 0.3995 | 0.3849 | 2.8436 | 2.9553 | 0.1867 | 0.1913 | 0.2337 |
| | -twin | | 0.2965 | 0.2835 | 3.7889 | 3.9672 | 0.0933 | 0.0956 | 0.1168 |
| 7 | Partridge | 16.31 | | | | | | | |
| | -single | | 0.4245 | 0.4121 | 2.6705 | 2.7537 | 0.2100 | 0.2151 | 0.2628 |
| | -twin | | 0.2983 | 0.2853 | 3.7655 | 3.9415 | 0.1050 | 0.1076 | 0.1314 |

| Const. Line Type | Phase conductor | | Voltage kV | Line parameters per unit of length | | | Limit |
|------------------|------------------|----------|------------|------------------------------------|-----------|---------|---------------|
| | Cond Type | Sect mm2 | | r1 ohm/km | x1 ohm/km | full b1 | |
| | | | | | | mcrS/km | rating (A/km) |
| PAVEN 221a | ACSR 53.8/8.8 | 62 | 70 | 0.5341 | 0.3552 | 3.6644 | 231 |
| RAVEN | | 62 | 70 | 0.6635 | 0.4635 | 3.372 | 231 |
| PIGEON 211a | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.3918 | 2.9204 | 312 |
| PIGEON 211b | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.4025 | 2.5374 | 312 |
| PIGEON 211c | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.3947 | 2.9006 | 312 |
| PIGEON 211d | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.4103 | 2.7882 | 312 |
| PIGEON 211e | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.3584 | 3.2024 | 312 |
| PIGEON 211f | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.3584 | 3.2024 | 312 |
| PIGEON 221a | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.3902 | 2.9307 | 312 |
| PIGEON 221b | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.389 | 2.9409 | 312 |
| PIGEON 221c | ACSR 85/14.2 | 85 | 70 | 0.337 | 0.4094 | 2.788 | 312 |
| PIGEON | | 85 | 70 | 0.4215 | 0.4456 | 3.4737 | 312 |
| ACSR 120 | | 120 | 70 | 0.2924 | 0.4572 | 2.7946 | 382 |
| ACSR 120/20 211a | ACSR 120/20 | | | | | | 382 |
| ACSR 120/20 211b | | 120 | 70 | 0.2374 | 0.3972 | 0.3972 | |
| ACSR 120/20 221a | ACSR 120/21 | 120 | 70 | 0.2374 | 0.3933 | 0.3938 | 382 |
| ACSR 120/20 221b | | | | | | | |
| ACSR 120/20 221c | ACSR 120/22 | 120 | 70 | 0.2374 | 0.3773 | 3.0347 | 382 |
| ACSR 120/20 221b | | | | | | | |
| ACSR 120/20 221b | ACSR 120/23 | 120 | 70 | 0.2374 | 0.3808 | 3.006 | 382 |
| PARTRIDGE | | 135 | 150 | 0.2355 | 0.4284 | 2.7590 | 400 |
| PARTRIDGE | ACSR 135.2/22 | 135 | 150 | 0.2136 | 0.4084 | 2.7968 | 375 |
| OSTRICH 211a | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3760 | 3.0466 | 440 |
| OSTRICH 221a | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3895 | 2.9366 | 440 |
| OSTRICH 221b | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3870 | 2.9558 | 440 |
| OSTRICH 221c | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3738 | 3.0648 | 440 |
| OSTRICH 111a | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3830 | 3.8732 | 440 |
| OSTRICH 111b | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.4047 | 2.3230 | 440 |
| OSTRICH 121a | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.4057 | 2.3142 | 440 |
| OSTRICH 211b | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3822 | 2.9949 | 440 |
| OSTRICH 211c | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3857 | 2.9660 | 440 |
| OSTRICH 211d | ACSR 152/24.7 | 152 | 70 | 0.1896 | 0.3760 | 3.0466 | 440 |
| OSTRICH | | 152 | 70 | 0.2346 | 0.4464 | 2.9283 | 440 |
| PIPER 211a | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3716 | 3.0845 | 440 |
| PIPER 211b | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3883 | 2.9457 | 440 |
| PIPER 211c | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3850 | 2.9728 | 440 |
| PIPER 211d | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3850 | 2.9726 | 440 |
| PIPER 221a | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.0859 | 2.9051 | 440 |
| PIPER 221b | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3719 | 3.0806 | 440 |
| PIPER 221c | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3729 | 3.0729 | 440 |
| PIPER 221d | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3845 | 2.3757 | 440 |
| PIPER 221e | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3824 | 2.9936 | 440 |
| PIPER 111a | ACSR 152/35.5 | 152 | 70 | 0.19 | 0.3840 | 2.9852 | 440 |
| PIPER | | 152 | 70 | 0.2350 | 0.4159 | 3.1499 | 440 |
| ORIOLE | | 170 | 70 | 0.2097 | 0.4371 | 2.9746 | 470 |
| ORIOLE 221a | ACSR 170.5/39.8 | 170 | 70 | 0.1694 | 0.3807 | 3.0069 | 470 |
| ORIOLE 211a | ACSR 170.5/39.9 | 170 | 70 | 0.1694 | 0.3804 | 0.0010 | 470 |
| ORIOLE 221b | ACSR 170.5/39.10 | 170 | 70 | 0.1694 | 0.3810 | 3.0051 | 470 |
| HAWK | | 240 | 150 | 0.1478 | 0.4248 | 3.0540 | 580 |
| HEN | | 240 | 150 | 0.1482 | 0.4496 | 2.8865 | 580 |
| ACSR 240 | | 240 | 150 | 0.1481 | 0.4419 | 2.8888 | 600 |
| TACSR 240 221 | TACSR 240 | 240 | 150 | 0.12669 | 0.3877 | 2.95109 | 973 |
| DRAKE | | 402 | 150 | 0.0893 | 3.434 | 2.9801 | 780 |
| DRAKE 221a | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0823 | 0.3889 | 2.9407 | 780 |
| DRAKE 221a | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0944 | 0.3890 | 2.9400 | 780 |
| DRAKE 222a | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0411 | 0.2822 | 4.0015 | 1560 |
| DRAKE 222a | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0411 | 0.2820 | 4 | 1560 |
| DRAKE 221b | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0882 | 0.4023 | 2.8988 | 780 |
| DRAKE 221b | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.1012 | 0.4020 | 2.8400 | 780 |
| DRAKE 222b | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0411 | 0.2812 | 4.0159 | 1560 |
| DRAKE 222b | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0472 | 0.2810 | 4.0200 | 1560 |
| DRAKE 221c | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0823 | 0.4063 | 2.8095 | 780 |
| DRAKE 221c | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0944 | 0.4060 | 2.8000 | 780 |
| DRAKE 221d | ACSR 402.8/65.6 | 402 | 150 | 0.0823 | 0.1666 | 0.2024 | 780 |
| ACSR 410 | | 410 | 150 | 0.0812 | 1.4820 | 8.5282 | 790 |
| TACSR 410 221 | TACSR 410 | 410 | 150 | 0.08478 | 1.4017 | 2.3400 | 1365 |
| TACSR 410 222 | TACSR 410 | 410 | 150 | 0.04239 | 0.2807 | 4.0227 | 2730 |
| TACSR 410 222 | TACSR 410 | 410 | 150 | 0.0486 | 0.2810 | 4.0200 | 2730 |
| TACSR 410 224 | TACSR 410 | 410 | 150 | 0.0212 | 1.2773 | 4.0841 | 560 |
| ZEBRA 222a | ACSR 423.9/55.6 | 429 | 150 | 0.0387 | 1.2807 | 4.0227 | 1620 |
| ZEBRA 222a | ACSR 423.9/55.6 | 429 | 150 | 0.0444 | 0.2810 | 4.0200 | 1620 |
| ZEBRA 222a | ACSR 423.9/55.6 | 429 | 150 | 0.0778 | 1.4018 | 2.3461 | 810 |
| ZEBRA 222b | ACSR 423.9/55.6 | 429 | 150 | 0.0778 | 1.4017 | 2.8400 | 810 |
| ZEBRA | | 429 | 150 | 0.0843 | 1.4495 | 2.8689 | 810 |
| ACSR 520 | | 620 | 150 | 0.0456 | 1.4600 | 0.7920 | 810 |
| CHL | | 625 | 150 | | | | |
| CHL | | 4X500 | 280 | | | | |

| Const. Line Type | Phase conductor | | Voltage kV | Line parameters per unit of lengn | | | Limit |
|------------------|-----------------|----------|------------|-----------------------------------|-----------|---------|---------------|
| | Cond Type | Sect mm2 | | r1 ohm/km | x1 ohm/km | full b1 | |
| | | | | | | mcrs/km | rating (A/km) |
| TACSR 240 222 | TACSR 240 | 240 | 150 | 0.06335 | 0.2581 | 4.3863 | 1946 |
| | | | | | | | |
| TACSR 240 224 | TACSR 240 | 240 | 150 | 0.03167 | 0.2788 | 4.0132 | 3892 |
| | | | | | | | |
| HAWK 221a | ACSR 241.7/39.4 | 240 | | 0.1370 | 0.4095 | 2.7882 | 580 |
| HAWK 221b | ACSR 241.7/39.4 | 240 | 150 | 0.1370 | 0.4180 | 2.7253 | 580 |
| HAWK 221b | ACSR 241.7/39.5 | 240 | 150 | 0.1370 | 0.4180 | 2.7200 | 580 |
| | | | | | | | |
| HAWK 221c | ACSR 241.7/39.4 | 240 | 150 | 0.1370 | 0.3966 | 2.8824 | 580 |
| | | | | | | | |
| HEN 221a | ACSR 241.7/56.4 | 240 | 70 | 0.1373 | 0.3335 | 3.4545 | 580 |
| | | | | | | | |
| HEN 211a | ACSR 241.7/56.4 | 240 | 150 | 0.1373 | 0.4127 | 2.7627 | 580 |
| HEN 211a | ACSR 241.7/56.4 | 240 | 150 | 0.1575 | 0.4130 | 2.7600 | 580 |
| | | | | | | | |
| HEN 221b | ACSR 241.7/56.4 | 240 | | 0.1373 | 0.3700 | 3.0981 | 580 |
| HEN 221c | ACSR 241.7/56.4 | 240 | 70 | 0.1373 | 0.3700 | 3.0981 | 580 |
| | | | | | | | |
| ACSR 160 121 a | ACSR 160 | 243 | 150 | 0.1820 | 0.4566 | 2.4094 | 450 |
| | | | | | | | |
| ACSR 240/40 | | | | | | | 600 |
| 111a | ACSR 240/40 | 243 | 150 | 0.1183 | 0.4092 | 2.7912 | |
| ACSR 240/40 | | | | | | | 600 |
| 221a | ACSR 240/40 | 243 | 150 | 0.1183 | 0.3877 | 2.9511 | |
| ACSR 240/40 | | | | | | | 600 |
| 221b | ACSR 240/40 | 243 | 150 | 0.1183 | 0.3958 | 2.3883 | |
| ACSR 240/40 | | | | | | | 600 |
| 221c | ACSR 240/40 | 243 | 150 | 0.1183 | 0.3859 | 2.9649 | |
| ACSR 240/40 | | | | | | | 600 |
| 221d | ACSR 240/40 | 243 | 150 | 0.1183 | 0.38946 | 2.9377 | |
| ACSR 240/40 | | | | | | | 1200 |
| 222a | ACSR 240/40 | 243 | 150 | 0.1183 | 0.2581 | 4.3863 | |
| ACSR 240/40 | | | | | | | 1200 |
| 222b | ACSR 240/40 | 243 | | 0.1183 | 0.3835 | 2.9842 | |
| | | | | | | | |
| DOVE 221a | ACSR 282/45.9 | 282 | 150 | 0.1172 | 0.4003 | 2.8534 | 600 |
| DOVE 221a | ACSR 282/45.9 | 282 | 150 | 0.1345 | 0.4 | 2.86 | 600 |
| | | | | | | | |
| DOVE 124a | ACSR 282/45.9 | 282 | 500 | 0.0293 | 0.2788 | 4.0132 | 2500 |
| | | | | | | | |
| DOVE 222a | ACSR 282/45.9 | 282 | 150 | 0.0586 | 0.2773 | 4.0736 | 1200 |
| DOVE 222a | ACSR 282/45.9 | 282 | 150 | 0.0672 | 0.277 | 4.08 | 1200 |
| | | | | | | | |
| DOVE | | 282 | 150 | 0.1279 | 0.4554 | 2.8408 | 600 |
| | | | | | | | |
| DUCK 221a | ACSR 306.9/39.8 | 307 | | 0.09423 | 0.3888 | 2.9419 | 610 |
| | | | | | | | |
| ACSR 330 221a | ACSR 330 | 330 | 150 | 0.0888 | 0.386 | 2.9648 | 740 |
| ACSR 330 221b | ACSR 330 | 330 | 150 | 0.0888 | 0.3611 | 3.1761 | 740 |
| ACSR 330 222a | ACSR 330 | 330 | 150 | 0.0444 | 0.2659 | 4.2533 | 1480 |
| ACSR 330 122a | ACSR 330 | 330 | 150 | 0.0888 | 0.2874 | 3.9308 | 740 |
| | | | | | | | |
| TACSR 330 221 | TACSR 330 | 330 | 150 | 0.09753 | 0.0611 | 3.1761 | 1164 |
| TACSR 330 222 | TACSR 330 | 330 | 150 | 0.04876 | 0.2669 | 4.25329 | 2327 |
| TACSR 330 224 | TACSR 330 | 330 | 150 | 0.02438 | 0.2773 | 4.0341 | 4656 |
| | | | | | | | |
| ACSR 330 | | 330 | 150 | 0.1135 | 3.352 | 2.9516 | 740 |
| | | | | | | | |
| GANNET 124a | ACSR 337.7/55 | 337.7 | 500 | 0.0245 | 0.2773 | 4.0841 | 2800 |
| | | | | | | | |
| ACSR 340 | | 340 | 150 | 0.0978 | 0.3818 | 2.983 | 740 |
| | | | | | | | |
| CU 50 | | 50 | 70 | 0.3570 | 0.7510 | 18.3600 | 280 |
| CU 70221a | CU 70 | 70 | | 0.2550 | 0.4025 | 2.8874 | 330 |
| CU 70211b | CU 70 | 70 | 70 | 0.2550 | 0.4025 | 2.8876 | 330 |
| CU 70211a | CU 70 | 70 | | 0.2550 | 0.4025 | 2.8876 | 330 |
| CU 70 | | 70 | 70 | 0.2750 | 0.5870 | 21.5700 | 330 |
| CU 240 | CU 240 | 240 | 150 | 0.0870 | 0.13200 | 73 | 580 |
| CU 240 | CU 240 | 240 | 150 | 0.0998 | 0.13200 | 73 | 580 |
| CU 240 | | 240 | 150 | 0.0754 | 0.16000 | 28.2600 | 580 |
| CU300 | CU 300 | 300 | 70 | 0.0730 | 0.1270 | 60 | 400 |
| CU300 | | 300 | 70 | 0.0607 | 0.2591 | 30.772 | 400 |
| | | | | | | | |
| CVT 325 | CVT 325 | 325 | 70 | 0.04446 | 0.3000 | 2.537 | 400 |
| CVT 325 | | 325 | 70 | 0.06440 | 0.1103 | 5.255 | 355 |
| | | | | | | | |
| AL630 | AL 630 | 630 | 150 | 0.0565 | 0.1125 | 100 | 580 |
| AL630 | AL 630 | 630 | 150 | 0.0648 | 0.1130 | 100 | 580 |
| AL630 | | 630 | 150 | 0.0050 | 0.1250 | 56.52 | 580 |
| | | | | | | | |
| UGC | | 630 | 110 | | | | |
| | | | | | | | |
| AL 800 | AL 800 | 800 | 150 | 0.0445 | 0.1080 | 115 | 700 |
| AL 800 | | 800 | 150 | 0.0450 | 0.1200 | 65.94 | 700 |
| | | | | | | | |
| CU 800 | CU 800 | 800 | 150 | 0.0290 | 0.1080 | 115 | 920 |
| CU 800 | CU 800 | 800 | 150 | 0.0333 | 0.1080 | 115 | 920 |
| CU 800 | | 800 | 150 | 0.0280 | 0.1300 | 67.824 | 920 |
| CU 25 121a | CU 25 | 26 | 70 | 0.0192 | 0.4681 | 3.4312 | 150 |
| CU 50221a | CU 50 | 50 | | 0.4096 | 0.4131 | 3.7619 | 280 |
| CU 50221b | CU 50 | 50 | 70 | 0.4096 | 0.3688 | 3.1118 | 280 |
| CU 50211a | CU 50 | 50 | 70 | 0.4096 | 0.3688 | 3.1118 | 280 |
| CU 50211b | CU 50 | 50 | 70 | 0.4096 | 0.4155 | 2.7445 | 280 |

BIODATA PENULIS



Giffari Yusuf Aditya, biasa dipanggil Giffari. Lahirkan di kota Bondowoso, 21 Januari 1996. Penulis memulai pendidikannya di TK Wahid Hasyim, kemudian melanjutkan ke SD Negeri Kembang 01. Kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 05 Bondowoso. Setelah itu melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 02 Bondowoso. Setelah lulus dari SMA kemudian melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Departemen Teknik Elektro. Dan mengambil bidang studi system tenaga. Penulis juga mengikuti beberapa organisasi seperti lembaga dakwah jurusan yaitu KALAM elektro ITS sebagai kepala divisi kaderisasi dan organisasi pondok pesantren mahasiswa Darul Arqam.

Halaman ini sengaja dikosongkan